

Eurokoodin soveltamisohje Siltojen kuormat ja suunnitteluperusteet – NCCI 1

5.9.2014



Eurokoodin soveltamisohje
Siltojen kuormat ja
suunnitteluperusteet – NCCI 1

5.9.2014

Liikenneviraston ohjeita 24/2014

Kannen kuva: Joonas Tulonen

Verkkojulkaisu pdf (www.liikennevirasto.fi)

ISSN-L 1798-663X

ISSN 1798-6648

ISBN 978-952-255-483-3

Liikennevirasto

PL 33

00521 HELSINKI

Puhelin 029 534 3000

Vastaanottaja
Liikennevirasto, ELY-keskukset / liikenne ja infrastruktuuri

Säädösperusta
Laki Liikennevirastosta 2.1 §

Voimassa
5.9.2014 alkaen toistaiseksi

Korvaa
Eurokoodin sovellusohje - Siltojen kuormat ja suunnitteluperusteet
NCCI 1 (22.12.2011), Liikenneviraston ohjeita 20/2011

Asiasanat
ohjeet, sillat, sillansuunnittelu, siltojen kuormat, eurokoodi

Eurokoodin soveltamisohje Siltojen kuormat ja suunnitteluperusteet – NCCI 1

Tätä soveltamisohjetta käytetään yleisten teiden siltojen, kevyen liikenteen siltojen ja rautatie-siltojen suunnittelussa. Lisäksi ohjetta käytetään niiden yksityistiesiltojen suunnittelussa, jotka saavat valtion avustusta sillan rakentamiseen. Siltojen kantavuuden määräyksestä annetaan ohjeet erikseen. Eurokoodeja ja niihin liittyviä Liikenneviraston soveltamisohjeita voidaan käyttää myös korjauskohteissa, mikäli se on tarkoituksenmukaista.

Tämä soveltamisohje on tarkoitettu pienten ja keskisuurten tavanomaisten siltojen (sillan kokonaismitta < 200 m) eurokoodin mukaiseen suunnitteluun. Erikoissilloille (Esim. köysisillat) ja pidemmille silloille voidaan tätä soveltamisohjetta käyttää Liikenneviraston hankekohtaisten lisämääräysten kanssa.

Ohjeessa on otettu huomioon ajoneuvoasetukseen 1.10.2013 tehdyt muutokset.

LISÄTIETOJA
Heikki Lilja
Liikennevirasto
puh. 029 534 3560

Suunnittelussa käytetty kuormitus esitetään siltanimiössä seuraavasti:

Tieliikenteen sillat:

- **LM1, LM3 / 5.9.2014**
- **LM1 (Y) / 5.9.2014** (yksityistien sillat silloin, kun hankekohtaisesti niin päätettäessä käytetään alennettuja kuormia (käytetyt kuormat on esitettävä suunnitelmissa ja yleispiirustuksessa))

Kevyen liikenteen sillat:

- **KL / 5.9.2014**

Rautatieliikenteen sillat

- **LM71-35 / 5.9.2014** (akselipaino 35 tonnia)

Kutakin siltoihin liittyvää eurokoodin osaa on käsitelty omassa kappaleessaan A...G. Lisäksi kappaleessa H on esitetty eräitä eurokoodin soveltamisalan ulkopuolelle jääviä asioita sekä Suomessa käytettyjä vakiintuneen käytännön mukaisia menetelmiä.

Liitteessä 1 on esitetty siltojen suunnittelussa tarvittavat kuormitusyhdistelyt eri rajatiloissa suunnittelua helpottamaan.

Ylijohtaja


Raimo Tapio

Tekninen johtaja


Markku Nummelin

Esipuhe

Eurokoodit ovat korvanneet aiemmat siltöjen kantavien rakenteiden suunnittelussa käytetyt ohjeet 1.6.2010 lähtien. Tämä soveltamisohje antaa ohjeita sillan suunnittelijalle eurokoodien tulkintaan sekä esittää menetelmiä, joilla eurokoodien ja Liikenneviraston edellyttämä vaatimustaso täytetään.

Soveltamisohjeesta on tehty tarkoituksellisesti mahdollisimman pelkistetty eikä kaikkia eurokoodin esittämiä kuormia ole käsitelty, joten tätä ohjetta pitää käyttää rinnakkain eurokoodin standardien SFS-EN 1990/A1, SFS-EN 1991-2 ja SFS-EN 1991-1...7 sekä niiden siltöja koskevien kansallisten liitteiden kanssa. Lisäksi tätä soveltamisohjetta kirjoitettaessa on oletettu, että käyttäjä hallitsee kuormien sijoittelun peruseriaatteen. Siltöja koskevat kansalliset liitteet on julkaistu liikenne- ja viestintäministeriön ohjeina mm. Liikenneviraston internet-sivuilla.

Tämä on soveltamisohjeen NCCI 1 kolmas versio. Verrattuna 2. versioon (22.12.2011) muutoksia ja tarkistuksia on tehty mm. seuraaviin kohtiin:

- Siltöjen rakenneosien kestävyyttä ja geoteknistä kantavuutta (SET B – STR/GEO) tarkastettaessa käytettävää pysyvien kuormien osavarmuuseroointia $\gamma_{G,sup}$ on kasvatettu (1,15 \rightarrow 1,25) (taulukko G.5 ja liitteet 1A, 1B, 1C)
- Kuormakaaviota LM1 sekä siltöjen törmäyskuormia on päivitetty vastaamaan paremmin suomalaisen tieliikenteen massoja (B.4.3.2 ja F.4)
- LM3 otetaan jatkossa lähtökohtaisesti huomioon kaikilla yleisten teiden silloilla (B.4.3.4)
- Lähtökohtaisesti yksityisteiden sillat mitoitetaan kuin yleisten teiden sillat (B.4.9)
- Kevyen liikenteen siltöjen huoltoajoneuvon ominaiskuorma on noussut (B.5.3)
- Rautatieliikenteen pitkäaikaisosuuksia kuvaavan yhdistelykertoimen ψ_2 arvoa on muutettu (0 \rightarrow 0,2) (G.2.2 ja Liite 1B)
- Kappaleeseen H.11 on lisätty aikaisemmin InfraRYL ohjeessa esitettyä pintarakenteiden suunnittelua ja rakentamista koskevaa ohjeistusta. Sillan suunnittelijan vastuu pintarakenteiden suunnittelusta kasvaa (H.11)
- Siirtomenetelmällä rakennettaville silloille on lisätty kappale (H.14)
- H-kappaleen kuvien, taulukoiden ja kaavojen numerointia on muutettu

Edellä mainittujen lisäksi ohjeeseen on tehty lukuisia muita korjauksia ja lisäyksiä.

Tämä soveltamisohje on laadittu Liikenneviraston Taitorakenneyksikössä pohjautuen Eurokoodeihin ja niiden kansallisiin liitteisiin.

Helsingissä elokuussa 2014

Liikennevirasto

Sisällysluettelo

A	OMAPAINO (SFS-EN 1991-1-1).....	8
A.4	Rakennusmateriaalien ja varastoitavien tuotteiden tilavuuspainot.....	8
B	SILTOJEN LIIKENNEKUORMAT (SFS-EN 1991-2).....	10
B.1	Yleistä.....	10
B.4	Tieliikennekuormat ja tiesiltoja koskevat kuormat.....	10
B.4.2	Yleistä	10
B.4.3	Pystykuormat	10
B.4.4	Vaakakuormat	12
B.4.5	Kuormaryhmät	13
B.4.6	Väsytytkuormat	15
B.4.7	Onnettomuuskuormat	17
B.4.8	Siltöjen maatumien ja niihin liittyvien muurien kuormat.....	17
B.4.9	Valtionapua saavat yksityistien sillat.....	18
B.5	Kevyen liikenteen siltöjen kuormat	18
B.5.3	Pystysuorien kuormien staattiset arvot	18
B.5.4	Vaakasuurien kuormien staattiset arvot	19
B.5.5	Kuormaryhmät	19
B.5.6	Onnettomuuskuormat	19
B.5.7	Kevyen liikenteen dynaamiset mallit.....	19
B.5.9	Siltöjen maatumien ja niihin liittyvien muurien kuormat.....	19
B.6	Rautatieliikennekuormat ja muut erityisesti rautatiesiltoja koskevat kuormat.....	20
B.6.1	Soveltamisala	20
B.6.2	Rautatieliikennekuormien erittely syntytapansa mukaan	20
B.6.3	Pystykuormien ominaisarvot (staattiset vaikutukset) sekä kuormituksen epäkeskisyys ja jakautuminen.....	20
B.6.4	Dynaamiset vaikutukset (resonanssi mukaan luettuna).....	24
B.6.5	Vaakasuurtaisten kuormien ominaisarvot	28
B.6.7	Suistumiskuormat ja muut rautatiesiltöjen kuormat.....	31
B.6.8	Rautatiesiltöjen kuormittaminen liikennekuormilla	33
B.6.9	Väsyttävät liikennekuormat	37
C	TUULIKUORMAT (SFS-EN 1991-1-4).....	39
D	LÄMPÖTILAKUORMAT (SFS-EN 1991-1-5).....	41
D.6.1	Siltöjen päällysrakenteet.....	41
E	TYÖNAIKAISSET KUORMAT (SFS-EN 1991-1-6).....	44
F	ONNETTOMUUSKUORMAT (SFS-EN 1991-1-7).....	45
F.3	Mitoitustilanteet	45
F.4	Törmäyskuormat.....	46
F.4.5	Suistuneen junan aiheuttamat onnettomuuskuormat.....	50
F.4.8	Laivaliikenteen aiheuttamat onnettomuuskuormat	51
G	KUORMIEN YHDISTELY (SFS-EN 1990/A1 LIITE A2)	53
G.1	Käyttötarkoitus	53
G.2	Kuormien yhdistely	53
G.2.1	Yleistä	53

G.2.2	Yhdistelykertoimien Y arvot	53
G.3	Murtorajatila	55
G.3.1	Normaalisti vallitsevat mitoitusilanteet	55
G.3.2	Onnettomuus- ja maanjäristysmitoitusilanteet	57
G.4	Käyttörajatila	58
H	EUROKOODIN SOVELTAMISALAN ULKOPUOLELLE JÄÄVÄT KUORMAT JA MUUT LISÄOHJEET	63
H.1	Jääkuormat	63
H.2	Tukipainuman ottaminen huomioon	64
H.3	Laakerikitka	64
H.4	Maanpaineen käsittely	65
H.5	Vedenpinnan aseman huomioonottaminen	65
H.6	Betonin kutistuminen ja viruminen	65
H.7	Jännevoima	65
H.8	Laakereiden ja liikuntasaumalaitteiden liikevarojen määrittäminen	66
H.9	Liikuntasaumat	67
H.10	Siltalaakerit	69
H.10.1	Yleistä	69
H.10.2	Mitoituskuormien määrittäminen	69
H.10.3	Laakerialusta	74
H.10.4	Laakerin aluslevyn minimikoon määrittäminen	75
H.10.5	Laskentaesimerkki	76
H.11	Pintarakenteet	79
H.11.1	Yleistä	79
H.11.2	Kannen pintarakenteen valinta	81
H.11.3	Vedeneristysvaihtoehdot	83
H.11.4	Eristysalustan käsittely	86
H.11.5	Eristyksen suojakerroksen valinta	87
H.11.6	Ajoneuvoliikenteen sillan päällyste ja sen saumat	89
H.11.7	Vaihtoehtoisen rakenneratkaisun esittäminen ja hyväksyminen rakennusvaiheessa	93
H.11.8	Täydentävä aineisto	93
H.12	Muut lisäohjeet	103
H.12.1	Yleistä	103
H.12.2	Rautatiealue	104
H.12.3	Siltöjen päätyulokkeet	104
H.12.4	Sillan kuivatus	104
H.12.5	Varausputket	105
H.12.6	Siirtymälaatat	105
H.12.7	Rautateiden varikkojen ja purkukuoppien kuormat	106
H.13	Suomalaiset junatyypit väsymismitoituksessa	107
H.14	Siirtomenetelmällä rakennettavat sillat	111
H.14.1	Siirron aikaiset rasitukset	111
H.14.2	Tukikorkopoikkeamat	111

LIITTEET

Liite 1A – Tiesiltöjen kuormien yhdistelytaulukot

Liite 1B – Rautatiesiltöjen kuormien yhdistelytaulukot

Liite 1C – Kevyen liikenteen siltöjen kuormien yhdistelytaulukot

A Omapaino (SFS-EN 1991-1-1)

A.4 Rakennusmateriaalien ja varastoitavien tuotteiden tilavuuspainot

Pysyviksi kuormiksi katsotaan rakenneosien paino ja muu rakenteeseen vaikuttava muuttumaton kuorma kuten täytteet ja päällysteet, maanpaine sekä kuorma, joka aiheutuu alivedenkorkeudella olevasta vedestä.

Materiaalien tilavuuspainoja esitetään standardissa SFS-EN 1991-1-1 (liitteen A taulukot). Standardin kappaleessa 5.2.3 on esitetty siltoja koskevia lisäsääntöjä. Ellei hankekohtaisesti muuten määrätä, voidaan rakenneosien painoa laskettaessa käyttää seuraavia standardin SFS-EN 1991-1-1 liitteen A taulukoihin perustuvia tilavuuspainoja (yleensä käytetään yläraja-arvoja):

Taulukko A.1 Sillanrakennusmateriaalien tilavuuspainoja

Materiaali	Tilavuuspaino
Betoni	24 kN/m ³
- kovettumaton betoni	25 kN/m ³
- raudoitettu betoni	25 kN/m ³
Sementtilaasti	19...23 kN/m ³
Rakenneteräs	77..78,5 kN/m ³
Valurauta	71...72,5 kN/m ³
Alumiini	27 kN/m ³
Puu (EN338)	
- C14 / C30 / D50 / D70	3,5 / 4,6 / 7,8 / 10,8 kN/m ³
Liimapuu (EN 1194)	
- GL24h / GL36h / GL24c / GL36c	3,7 / 4,4 / 3,5 / 4,2 kN/m ³
Kreosoottikyllästetty puu	6 kN/m ³
Puiset muotit ja telineet	6 kN/m ³
Valuasfaltti ja asfalttibetoni	24..25 kN/m ³
Asfalttimastiksi	18..22 kN/m ³
Jyräasfaltti	23 kN/m ³
Hiekka, kuiva	15..16 kN/m ³
Sepeli ja sora, irtonainen	15..16 kN/m ³
Maabetoni	18,5..19,5 kN/m ³
Murskattu masuunikuona	13,5..14,5 kN/m ³
Sullottu kivimurske	20,5..21,5 kN/m ³

Tiivistyssavi	18,5..19,5 kN/m ³
Rautatiesiltöjen päällyskerros:	
- Betoninen suojakerros	25 kN/m ³
- Normaali sepelikerros	18 kN/m ³
- Basalttisepelikerros	26 kN/m ³
- Pengertäyte	20 kN/m ³
- Suojakiskot	1,5 kN/m
- Yhden raiteen betonipölkkyt ja kiskot	6,2 kN/m

Päällysteen painoa laskettaessa varaudutaan lisäpäällystekerrokseen, jonka paino on 1 kN/m².

Tukikerroksen painoa laskettaessa, käytetään tukikerroksen paksuutena vähintään 600 mm. Tukikerroksen painossa varaudutaan myös 200 mm lisätukikerrokseen.

A.4.3.1 Siltöja koskevat lisäsäännöt

Standardin SFS-EN 1991-1-1 kappaleessa 5.2.3 esitettyjä eri materiaalien ylä- ja alaraja-arvoja ei tarvitse ottaa huomioon ellei hankekohtaisesti toisin määrätä.

B Siltojen liikennekuormat (SFS-EN 1991-2)

Kaikki standardissa SFS-EN 1991-2 sekä sen kansallisessa liitteessä esitetyt vaatimukset ovat voimassa ja niitä on noudatettava, vaikka tässä soveltamisohjeessa kaikkiin standardissa esitettyihin asioihin ei otetakaan kantaa.

B.1 Yleistä

B.4 Tieliikennekuormat ja tiesiltoja koskevat kuormat

B.4.2 Yleistä

B.4.2.1 Kaistajako

Ajoneuvokuorma (dynaaminen suurennusvaikutus mukaan luettuna) määritetään käyttäen kuormakaavioita LM1...LM4. Rakenteen jokainen osa mitoitetaan sille kaaviolle, joka antaa määrävän vaikutuksen. Kuormakaavio LM4 edustaa tungoskuormaa, jonka käyttö voidaan määritellä hankekohtaisesti.

Kuormakaavioiden LM1...LM4 oletetaan kuormittavan sillan pituussuuntaista pintaa, kuormakaistaa, jonka leveys on 3,0 m. Kuormakaistojen lukumäärä ja sijoittelu sillan poikkisuunnassa valitaan siten, että saavutetaan määrävä vaikutus.

Sillan koko kansi mitoitetaan liikennekuormakaavioille. Kuormakaistojen lukumäärä on enintään se määrä, joka sillalle sen leveyssuunnassa mahtuu. Erityistapauksissa (esim. ajorampit tienristeyksien läheisyydessä, leveät yksiajokaistaisten teiden sillat jne.) määritellään kuormakaistojen lukumäärä hankekohtaisesti.

Sillan kansi (yleensä hyödyllinen leveys) jaetaan 3 metrin kuormakaistoihin. Mikäli hyödyllinen leveys on 5,4...6 metriä asetetaan kannelle kaksi yhtä leveää kuormakaistaa. Kun hyödyllinen leveys on vähemmän kuin 5,4 metriä kannelle asetetaan yksi 3 metrin kuormakaista.

Kuormakaavioiden pystykuormat voidaan jakaa murskekerroksessa suhteessa 2:1 ja pintarakenteissa suhteessa 1:1.

Lisätietoja ks. SFS-EN 1991-2 kohdat 4.2.3, 4.2.4 ja 4.2.5.

B.4.3 Pystykuormat

B.4.3.2 Kuormakaavio LM1

Kuormakaavio LM1 koostuu kuormakaistoille sijoitettavista tasaisesti jakautuneista kuormista $\alpha_{qi} \times q_{ik}$ sekä kahden akselikuorman $\alpha_{qi} \times Q_{ik}$ muodostamista telikuormista. Telikuormien akseliväli on 1,2 m ja ne sijoitetaan sillalle siten, että saadaan mahdollisimman epäedullinen vaikutus. Akseli koostuu kahdesta 2 m:n etäisyydellä toisistaan sijaitsevasta pyöräkuormasta, jonka kosketuspintana on 0,4x0,4 m² (ks. SFS-EN 1991-2 kuvat 4.2a ja 4.2b).

Telit sijoitetaan päällysrakenteita tarkasteltaessa kuormakaistan keskelle. Hankekoh-
taisesti niin määrättäessä vierekkäisten kuormakaistojen telien pyöräkuormien keski-
näinen etäisyys sillan poikkisuunnassa voi olla 0,5 m (ks. SFS-EN 1991-2 kuva 4.2b).

Kuormakaavion kuormakaistojen määrä ja sijoittelu kaksiajorataisen sillan tapauk-
sessa määritellään hankekohtaisesti.

Telikuorman ja tasan jakautuneen kuorman ominaisarvot kerrottuna α -kertoimilla on
esitetty taulukossa B.1 (vrt. SFS-EN 1991-2 taulukko 4.2):

Taulukko B.1 Kuormakaavion LM1 kuormien ominaisarvot α -kertoimilla kerrottuna

Sijainti	Yleiset tied			
	Telikuorma		UDL	
	α_{Qi}	$2 \times \alpha_{Qi} \times Q_{ik}$ (kN)	α_{qi}	$\alpha_{qi} \times q_{ik}/q_{rk}$ (kN/m ²)
Kaista nro 1	1,0	2×300	1,0	9
Kaista nro 2	1,5	2×300	2,4	6
Kaista nro 3	0	-	1,2	3
Muut kaistat	-	-	1,2	3
Kaistojen ulko- puolinen alue (q_{rk})	-	-	1,2	3

Valtion apua saavat yksityisteiden sillat ks. B.4.9.

B.4.3.3 Kuormakaavio LM2

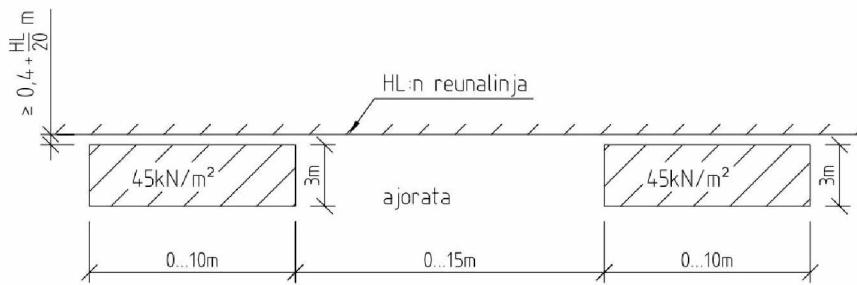
Kuormakaavio LM2 koostuu kuormakaistoille sijoitettavasta akselikuormasta $\beta_Q \times Q_{ak}$,
jossa Q_{ak} on 400 kN. Rakennetta voidaan kuormittaa vain akselin toisella pyöräkuor-
malla ($\beta_Q \times 200$ kN), jos koko akseli ei mahdu ko. rakenteen kohtaan.

Akseli koostuu kahdesta 2 m:n etäisyydellä toisistaan sijaitsevasta pyöräkuormasta,
jonka kosketuspintana on 0,35x0,6 m suorakulmio. Kuormakaavion leveys on 3 met-
riä. Pyöräkuorma voi sijaita reunakiven vieressä. (ks. SFS-EN 1991-2 kuva 4.3). Glo-
baaleja vaikutuksia tutkittaessa voidaan kosketuspinta-alaksi otaksua sama
0,4x0,4 m² kuin kuormakaaviolla LM1. Liikuntasaumalaitteiden vieressä käytetään
dynaamista lisäsuurennuskerrointa standardin SFS-EN 1991-2 kohdan 4.6.1 (6) mu-
kaisesti.

Suomessa käytetään kertoimen β_Q arvona 1,0.

B.4.3.4 Kuormakaavio LM3

Kuvassa B.1 esitettyä kuormakaaviota LM3 käytetään aina yleisten teiden silloilla, jol-
lei hankekohtaisesti toisin määrätä. Kuormakaaviolla mitoitetaan rakenteet murto-
rajatilassa ja käyttörajatilassa (ominaisyhdistely) sekä tarkistetaan alusrakenteiden
kantavuus. Kuormakaavio sijaitsee yhdellä kaistalla.



Kuva B.1 Kuormakaavio LM3

Asianomainen viranomais voi määrittää täydentäviä käyttöehtoja myös hankekohtaisesti (esim. voidaan sopia standardin SFS-EN 1991-2 liitteessä A esitettyjen vakiokaavioiden käytöstä).

B.4.3.5 Kuormakaavio LM4

Kuormakaavio LM4 edustaa tungoskuormaa ja sen käytöstä määrätään hankekohtaisesti. Kuormakaaviossa kuormana on tasaisesti jakautunut kuorma 5 kN/m², joka jaetaan sillan hyötyleveydelle niin, että siitä syntyy määräävä vaikutus.

B.4.4 Vaakakuormat

B.4.4.1 Jarrutus- ja kiihdytyskuormat

Ajoneuvon jarrutuksen ja kiihdytyksen aiheuttaman vaakasuora jarrukuorma Q_{lk} vaikuttaa pituussuuntaisesti ajoradan pinnan tasolla. Kuorman voi otaksua jakaantuvan tasaisesti koko ajoradan leveydelle. Kuorman ominaisarvo Q_{lk} lasketaan kaavalla:

$$Q_{lk} = 0,6\alpha_{Q1}(2Q_{1k}) + 0,10\alpha_{q1}q_{1k}w_1L \quad (B.1)$$

Edellisissä kappaleissa esitetyllä sovituskertoimella kerrottuna Suomessa käytettävä jarrukuorman arvo on:

$$Q_{lk} = 360 + 2,7 \times L[kN] \quad (B.2)$$

Määriteltäessä jarrukuormaa tarkoitetaan siltakannen pituudella todellista yhtenäisen sillan osan pituutta, ts. pituutta, joka vastaa etäisyyttä kahden sellaisen ylimenolaitteen välillä, jotka eivät siirrä vaakakuormia.

Rakenteet, jotka voidaan kuormittaa kahdesta tai useammasta sillan osasta aiheutuvalla jarrukuormalla, mitoitetaan yhdelle (määräavalle) jarrukuormalle Q_{lk} .

Suomessa käytetään jarrukuorman ylärajana 500 kN. ks, standardin kohta 1991-2 kohta 4.4.1.

Liikuntasaumoin ja yhden akselin kuormittamiin rakenneseisiin vaikuttava vaakasuuntainen kuorma saadaan kaavalla

$$Q_{lk} = 0,6\alpha_{Q1}Q_{1k} \quad (B.3)$$

Jarrukuorman aiheuttama päällysrakenteen laskennallinen vaakasiirtymä saa olla enintään 20 mm.

B.4.4.2 Keskipakokuorma ja muut vaakasuuntaisesti vaikuttavat kuormat

Keskipakokuorma Q_{tk} vaikuttaa valmiin ajoradan pinnan korkeudella ajoradan säteen suunnassa pistekuormana missä tahansa kannen poikkileikkauksessa, joka sijaitsee säteen r alueella. Voiman Q_{tk} ominaisarvo, jossa dynaamiset vaikutukset ovat mukana, saadaan taulukosta B.2.

Taulukko B.2 Keskipakokuorman ominaisarvo

Q_{tk} [kN]	r [m]
$0,2Q_v$	200
$40^{\circ}Q_v/r$	200..1500
0	1500

r = ajoradan keskiviivan vaakasäde

Q_v = kuormakaavion LM1 telien pystysuuntaisten pistekuormien summa

Suomen kansallisilla valinnoilla $Q_v = 600$ kN mikäli siltakannelle mahtuu vain yksi kaista ja 1200 kN kun sillalle mahtuu ≥ 2 kaistaa.

Vinosta jarrutuksesta tai sivuluisusta aiheutuva poikittainen kuorma Q_{trk} on 25 % pituussuuntaisesta jarru- tai kiihdytyskuormasta Q_{tk} . Kyseinen kuorma vaikuttaa samanaikaisesti kuorman Q_{tk} kanssa.

Sivukuorman aiheuttama päällysrakenteen laskennallinen vaakasiirtymä saa olla enintään 20 mm.

B.4.5 Kuormaryhmät

Liikennekuormista (pysty- ja vaakakuormista) muodostetaan ns. kuormaryhmiä, joita käsitellään yksittäisinä kuormina kuormitusyhdistelyissä. Tieliikenteen silloilla kuormaryhmiä on yhteensä kuusi kappaletta, eivätkä ne voi esiintyä samanaikaisesti kuormitusyhdistelyssä. Tieliikenteen siltöjen kuormaryhmät on esitetty taulukossa B.3.

Taulukko B.3 Tieliikenteen siltöjen kuormaryhmät

Taulukko 4.4a (FI) - Liikennekuormaryhmien määrittäminen (useasta komponentista muodostuvien kuormitusten ominaisarvot)

Rakenteen luokka	AJORATA PIENTAREINEEN										Kevyen liikenteen väylä
	Pystykuormat						Vaakakuormat				
	LM1		LM2	LM3	LM4	Jarru- ja kiihdytyskuormat		Keskipakokuorma ja sivukuorma			
	Teli	UDL	Yksittäinen akseli	Erikoiskuorma	Ruuhkakuormitus						
	[EN 1991-2_4.3.2]		[EN 1991-2_4.3.3]	[EN 1991-2_4.3.4]	[EN 1991-2_4.3.5]	[EN 1991-2_4.4.1]	[EN 1991-2_4.4.2]				
gr1a	Ominaisarvo									Yhdistelyarvo 3 kN/m ²	
	1	1									
gr1b			Ominaisarvo 1								
gr2	Tavallinen arvo (ψ1)						Ominaisarvo 1	Ominaisarvo 1			
	0,75	0,4									
gr3										Ominaisarvo 5 kN/m ²	
gr4						Ominaisarvo 1				Ominaisarvo 5 kN/m ²	
gr5				Ominaisarvo 1							

Taulukkoon on kirjoitettu sisään (eurokoodin alkuperäisestä taulukosta poiketen, ks. SFS-EN 1991-2 taulukko 4.4a) käytettävät yhdistelykertoimet sekä Suomen kansalliset valinnat.

Tiesiltöjen yhdistelykertoimet (Y_0 , Y_1 ja Y_2) esitetään taulukossa G1 ja kuormitusyhdistelyt murto- ja käyttörajatiloissa taulukoissa G4...G8. Tämän soveltamisohjeen liitteessä 1 on esitetty sillansuunnittelussa käytettävät kuormitusyhdistelyt murto- ja käyttörajatiloissa.

Eri kuormaryhmillä on selvä käyttötarkoituksensa (mitoittavat eri asioita) ja kaikkia kuormaryhmiä ei tarvitse aina muodostaa. Alla on eritelty kunkin kuormaryhmän sisältö (sulkuihin on kirjoitettu mahdollinen käyttötarkoitus ko. kuormaryhmälle).

gr1a (MRT_1 liitteen 1A taulukossa 1):

- Pystysuora liikennekuorma LM1 ominaisarvolla
- Mahdollisen kevyen liikenteen kaistan kuorma 3 kN/m²
- Mitoittaa usein pääkannattimet ja kansilaatan poikittain
- Yleensä aina mitoittava, aina laskettava

gr1b (MRT_2):

- Pystysuoran liikennekuorma LM2 ominaisarvolla
- Mitoittaa mahdollisesti ortotrooppikannen, ulokkeen yms.
- Yleensä ei mitoittava, yleensä kuitenkin laskettava

gr2 (MRT_3):

- Pystysuora liikennekuorma LM1 tavallisella arvolla (telikuormat kerrottuna arvolla 0,75 ja tasaiset kuormat arvolla 0,40)
- Liikenteestä aiheutuvat vaakakuormat ominaisarvolla
- Mitoittaa usein alusrakenteet
- Usein mitoittava, aina laskettava

gr3 (MRT_4):

- Pelkästään kevyen liikenteen kaistat kuormitettuna pintakuormalla 5 kN/m²
- Harvoin mitoittava

gr4 (MRT_5):

- Kevyen liikenteen kaistat kuormitettuna pintakuormalla 5 kN/m²
- Muut kaistat kuormitettuna ruuhkakuormalla 5 kN/m²
- Harvoin mitoittava

gr5 (MRT_6):

- Yliraskaan erikoiskuorman kuormakaavio LM3 ominaisarvolla
- Mitoittaa mahdollisesti rakenteita murtorajatilassa
- Usein mitoittava ja aina laskettava

Ajoneuvoliikenteen silta mitoitetaan kauttaaltaan ajoneuvoliikenteen kuormakaavioille riippumatta suunnittelusta käyttötarkoituksesta.

B.4.6 Väsytytkuormat

B.4.6.1 Yleistä

Eurokoodissa (SFS-EN 1991-2 kappale 4.6) esitetään viisi erilaista väsytytkuormakaaviota. Väsytytkuormakaavioita FLM1, FLM2 sekä FLM3 käytetään kuormakaavioiden aiheuttamien maksimi- ja minimijännitysten määrittämiseen ja kaavioita FLM4 sekä FLM5 jännitysvaihteluvälin spektrin määrittämiseen.

Ensisijaisesti suositellaan käytettäväksi väsytytkuormakaavioita FLM3. Lisäksi väsytytkuormakaaviota FLM1 voidaan käyttää tarkistettaessa voidaanko väsymisikää pitää rajattomana. Muiden kuormakaavioiden käytöstä tulee sopia asianomaisen viranomaisen kanssa hankekohtaisesti.

Mikäli väsyttävän kuorman sijainnilla (poikkisuunnassa) kaistalla on merkittävää vaikutusta mitoitusmenetelmään (esim. paikallisia voimasuureita määritettäessä), otetaan poikittaisen sijainnin jakauma huomioon standardin SFS-EN 1991-2 kuvan 4.6 mukaan.

Liikuntasuureiden läheisyydessä otetaan huomioon dynaaminen lisäsuurennuskerroin, joka saadaan kaavalla:

$$\Delta\varphi_{fat} = 1,30 \cdot (1 - D/26) \geq 1,0 \quad (B.4)$$

, missä D on etäisyys (m) liikuntasuureesta. Kyseistä lisäsuurennuskerrointa voidaan käyttää myös muiden mahdollisten epäjatkuvuuskohtien kohdalla (esim. SFS-EN 1993-1 kohta 7.8.2 (2), ks. myös tämän soveltamisohjeen kohta B.4.3.3).

Tarkempi väsymismitoitusmenettely esitetään materiaalikohtaisissa soveltamisohjeissa.

B.4.6.2 Väsytytkuormakaavio FLM1

Väsytytkuormakaavio FLM1 on rakenteeltaan samanlainen kuin kohdassa B.4.3.2 määritelty kuormakaavio LM1 siten, että akselikuormien arvot ovat $0,7 \times Q_{ik}$ ja tasaisesti jakautuneiden kuormien arvot $0,3 \times q_{ik}$.

Väsytytkuormakaavioiden aiheuttamat maksimi- ja minimijännitykset $\sigma_{FLM,max}$ ja $\sigma_{FLM,min}$ määritetään sijoittamalla kaavio kuormat sillalle siten, että ääriarvot saavutetaan. Saatua jännityksiä verrataan kestävyysarvoihin materiaalikohtaisissa soveltamisohjeissa esitettyjen periaatteiden mukaisesti.

B.4.6.3 Väsytytkuormakaavio FLM2

Väsytytkuormakaaviota FLM2 ei käytetä.

B.4.6.4 Väsytytkuormakaavio FLM3

Väsytytkuormakaaviota FLM3 suositellaan käytettäväksi väsymismitoituksessa.

Väsytytkuormakaavio FLM3 koostuu neljästä akselista (akselipaino 120 kN), joista jokaisessa on kaksi samanlaista pyörää (kosketuspinta on neliö, jonka sivumitat ovat 0,4 m). Akselivälit ovat 1,2 + 6 + 1,2 metriä ja akselien rengasväli on 2,0 metriä (ks.

SFS-EN 1991-2 kuva 4.8). Hankekohtaisesti voidaan määrätä toisen ajoneuvon käytöstä eurokoodin mukaisesti (akselipaino 36kN).

VäsytySKUORMAKAAVION aiheuttamat maksimi- ja minimijännitykset $\sigma_{FLM,max}$ ja $\sigma_{FLM,min}$ määritetään sijoittamalla kaavion kuormat sillalle siten, että ääriarvot saavutetaan. Saatuja jännityksiä verrataan kestävyysarvoihin materiaaliKohtaisissa soveltamisohjeessa esitettyjen periaatteiden mukaisesti.

Kun käytetään väsytySKUORMAKAAVIOTA FLM3, saadaan ajoneuvojen lukumäärä taulukosta B.4 (SFS-EN 1991-2 kansallinen liite, taulukko 4.5n(FI)). Taulukon oikeanpuolisen sarakkeen liikennemäärien arvot ovat laskennallisia arvoja, joiden avulla määritetyt λ_2 -arvot vastaavat todellisen liikenteen aiheuttamia väsyttäviä vaikutuksia kyseisessä liikenteen luokassa.

Tässä tapauksessa hitaan liikenteen kaistalla tarkoitetaan väsytyksen kannalta määrävää kuormakaistaa.

Taulukko B.4 Ajoneuvojen lukumäärä väsytySKUORMAKAAVIOLLE FLM3

Liikenteen luokat (suluissa on esitetty kriteerit liikenteen luokan valinnalle: raskaiden ajoneuvojen määrä/vrk/suunta sillan käyttöiän alussa)		N _{obs} vuotta ja hitaan liikenteen kaistaa kohti (Laskennassa käytetty raskaiden ajoneuvojen määrä/vuosi/suunta)
1	Moottori-, moottoriliikenne- ja muut tiet, joilla suuntaa kohti on vähintään 2 kaistaa, ja joilla kuorma-autoista muodostuva liikennemäärä on suuri (> 1200 raskasta ajoneuvoa /vrk/suunta)	$2,0 \times 10^6$
2	Moottori-, moottoriliikenne- ja muut tiet, joilla kuorma-autoista muodostuva liikennemäärä on keskimääräinen (200...1200 raskasta ajoneuvoa /vrk/suunta)	$0,5 \times 10^6$
3	Päätiet, joilla kuorma-autojen liikennemäärä on vähäinen (50...200 raskasta ajoneuvoa /vrk/suunta)	$0,125 \times 10^6$
4	Paikallistiet, joilla kuorma-autojen liikennemäärä on vähäinen (< 50 raskasta ajoneuvoa /vrk/suunta)	$0,05 \times 10^6$

Raskaan liikenteen jakauma saadaan standardin SFS-EN 1991-2 taulukosta 4.7, jossa oletetaan liikenteen tyyppiä "Keskipitkä liikenne", ellei hankekohtaisesti toisin määrätä.

Taulukkojen B4 ja 4.7 (standardissa SFS-EN 1991-2) avulla voidaan määrittää väsymismitoituksessa tarvittava ekvivalentti vauriokerroin λ_2 teräs- ja liittosilloille (ks. SFS-EN 1993-2 kappale 9.5.2) sekä $\lambda_{s,2}$ betonisilloille (ks. SFS-EN 1992-2, liite NN). Kyseisten taulukoiden kansalliset valinnat on valittu siten, että mitoitus vastaa todellista suomalaista raskasta liikennettä.

Tarkempi väsymismitoitusmenettely sekä valmiiksi lasketut λ_2 - kertoimet eri liikenteen luokille ja tyypeille esitetään materiaaliKohtaisissa soveltamisohjeissa.

B.4.6.5 Väsytskuormakaavio FLM4

Väsytskuormakaaviossa FLM4 kuormitetaan siltaa sarjalla ekvivalentteja kuorma-autoja, jotka yhdessä tuottavat Euroopan teillä tyypillisen liikenteen kaltaiset vaikutukset (ks. SFS-EN 1991-2 taulukko 4.7). Yksittäisten kuorma-autojen siltaa ylittäessään aiheuttamasta jännityksen vaihtelusta syntyvän jännitysvaihteluvälin spektrin ja vastaavan jaksojen lukumäärän määrittämiseen käytetään rainflow-menetelmää tai vesisäiliöanalogiaa.

Väsytskuormakaavion FLM4 käytöstä voidaan sopia hankekohtaisesti asianomaisen viranomaisen kanssa. Väsytskuormakaavion FLM4 käyttö on perusteltua kansirakenteen yksityiskohtien väsymismitoituksessa (esim. teräksinen ortotrooppikansi). Asianomainen viranomainen voi tarvittaessa määrittää standardin SFS-EN 1991-2 taulukon 4.7 liikenteen tyyppin sekä laskennassa käytetyt ekvivalentit akselikuormat myös hankekohtaisesti.

B.4.6.6 Väsytskuormakaavio FLM5

Väsytskuormakaavion FLM5 käytöstä voidaan sopia hankekohtaisesti asianomaisen viranomaisen kanssa. Väsytskuormakaavio FLM5 muodostuu suoraan mitatusta liikennetiedosta ja asianomainen viranomainen voi määrittää liikenteen jakauman sekä lopulliset ekvivalentit akselikuormat hankekohtaisesti.

B.4.7 Onnettomuuskuormat

Onnettomuuskuormat käsitellään tämän soveltamisohjeen osiossa F. Standardin SFS-EN 1991-2 kappaleessa 4.7 esitetyt vaatimukset ovat voimassa ja niitä on noudatettava.

B.4.8 Siltojen maatumien ja niihin liittyvien muurien kuormat

Laskettaessa liikennekuorman aiheuttamaa maanpainetta voidaan pystysuoran liikennekuorman arvoksi penkereellä sillan takana otaksua 20 kN/m^2 , joka vaikuttaa koko hyödyllisellä leveydellä. Siipimuurien mitoituksessa käytetään kuormakaavioiden LM1 ja LM2 pyöräkuormia, mikäli ne ovat määräävämpiä kuin em. 20 kN/m^2 .

Liikennekuorman maanpaine lasketaan aina lepopainekertoimella.

Siirtymälaatan tukireaktio siltaan lasketaan seuraavilla otaksumilla:

- Siirtymälaatta on yksinkertainen palkki, jonka jännemitta on 60 % siirtymälaatan pituudesta. Loppuosa siirtymälaatasta tukeutuu suoraan penkereeseen.
- Tukireaktio otetaan huomioon päällysrakenteen kuormana vain jos se vaikuttaa mitoituskuormaa lisäävästi (siirtymälaatan päällä otaksutaan olevan tasainen liikennekuorma 20 kN/m^2)

Maatuen otsamuureihin (otsamuurin mitoituksessa) vaikuttaa sillan pituussuuntainen jarrukuorma, jonka suuruus on esitetty tämän soveltamisohjeen kappaleessa B.4.4.1. Jarrukuorman kanssa otsamuriin vaikuttaa samanaikaisesti myös pystysuuntainen akselikuorma 300 kN ($= a \times Q_{1k}$) sekä täytemaan maanpaine. Penkereellä sillan takana sijaitsevasta liikenteestä johtuvia vaakasuuntaisia kuormia ei tarvitse ottaa huomioon samanaikaisesti (ks. standardin SFS-EN 1991-2 kuva 4.11). Edellisissä kappaleissa

esitetyllä sovituskertoimella kerrottuna liikuntasaumoin ja yhden akselin kuormitamiin rakenneosiin vaikuttava vaakasuuntainen kuorma on 180 kN.

Maatuen siipimuurin mitoituksessa tarkastetaan lisäksi tilanne, jossa hyötykuormana on liikennekuorman (20 kN/m²) aiheuttama maanpaine ja pyöräkuorma (LM2 = 200 kN) siipimuurin päällä. Siiven päällä olevaa pyöräkuormaa ei tarvitse ottaa huomioon halkeilulaskennassa.

B.4.9 Valtionapua saavat yksityisteiden sillat

Hankekohtaisesti niin sovittaessa valtionapua saavien yksityisteiden siltöjen kuormia voidaan pienentää käyttämällä pienempiä sovituskertoimia α_{qi} , α_{qi} ja β_Q . Kertoimilla kerrotaan kaikkia kuormakaavioiden pystykuormia ja niistä johdettuja vaakakuormia siten, kun edellisissä kappaleissa on esitetty. Myös kuormakaavion LM3 käyttö valtionapua saavilla yksityisteiden silloilla määritetään hankekohtaisesti. Mahdolliset alennetut kertoimet hyväksytetään Liikennevirastossa (silta-asiantuntijat).

B.5 Kevyen liikenteen siltöjen kuormat

B.5.3 Pystysuorien kuormien staattiset arvot

Kevyen liikenteen sillan suunnittelussa otetaan huomioon kolme eriaikaisesti vaikuttavaa kuormakaaviota:

- tasaisesti jakautunut kuorma q_{fk}
- pistekuorma Q_{fwk}
- huoltoajoneuvo Q_{serv}

Tasaisesti jakautunut kuorma q_{fk} asetetaan vaikuttamaan vaikutuspinnan pitkittäis- ja poikittaissuunnassa epäedullisilla osilla (shakkilautakuormitus). Kuorma määritetään kaavalla:

$$q_{fk} = 2,0 + 120 / (L + 30), 2,5 \leq q_{fk} \leq 5,0 [kN/m^2] \quad (B.5)$$

jossa L on kuormituspituus.

Jos sillalla on odotettavissa jatkuvan tiiviin tungoksen mahdollisuus, käytetään asianomaisen viranomaisen niin määrätessä mitoituksena vähintään tämän soveltamisohjeen kappaleen B.4.3.5 tungoskuormaa (5 kN/m²).

Pistekuorman Q_{fwk} ominaisarvo on 20 kN, ja sen vaikutuspinta-ala on 0,2×0,2 m². Pistekuormaa käytetään, jos huoltoajoneuvon pääsy sillalle on estetty.

Huoltoajoneuvon kuormakaaviona käytetään standardin SFS-EN 1991-2 kuvan 5.2 mukaista onnettomuuskuormakaaviota. Kuormakaaviossa on kaksi akselia (akseliväli 3,0 m) kokonaispainoltaan 100 kN + 60 kN. Akselin rengaskuormien kosketuspinta-ala on 0,2×0,2 m² ja rengasväli 1,30 m. Suomen kansallisessa liitteessä on määritetty ajoneuvon leveydeksi 2,0 m.

B.5.4 Vaakasuorien kuormien staattiset arvot

Kevyen liikenteen sillan pituussuuntaisen kuorman arvo on $Q_{flk} = 96 \text{ kN}$. Mikäli huoltoajoneuvo ei pääse sillalle rakenteellisista syistä johtuen (esim. portaat sillan päissä), käytetään pituussuuntaiselle kuormalle arvoa 20 kN.

Sivukuorman suuruus on 25 % edellä esitetystä pituussuuntaisen kuorman arvoista.

B.5.5 Kuormaryhmät

Kevyen liikenteen liikennekuormista (pysty- ja vaakakuormista) muodostetaan ns. kuormaryhmiä, joita käsitellään yksittäisinä kuormina kuormitusyhdistelyissä. Kevyen liikenteen silloilla kuormaryhmiä on yhteensä kaksi kappaletta, eivätkä ne voi esiintyä samanaikaisesti kuormitusyhdistelyssä. Kevyen liikenteen siltöjen kuormaryhmät on esitetty taulukossa B.5.

Taulukko B.5 Kevyen liikenteen siltöjen kuormaryhmät

	Pystykuormat		Vaakakuormat
	Tasainen kuorma q_{fk}	Huoltoajoneuvo Q_{serv} tai Pistekuorma Q_{fwk}	Q_{flk}
	[EN 1991-2 5.3.2.1]	[EN 1991-2 5.3.2.3]	[EN 1991-2 5.4]
gr1	Ominaisarvo		Ominaisarvo
	1		1
gr2		Ominaisarvo	Ominaisarvo
		1	1

Taulukkoon on kirjoitettu sisään (eurokoodin alkuperäisestä taulukosta poiketen, ks. SFS-EN 1991-2 taulukko 5.1) käytettävät yhdistelykertoimet.

Kevyen liikenteen siltöjen yhdistelykertoimet (Y_0 , Y_1 ja Y_2) esitetään taulukossa G2 ja kuormitusyhdistelyt murto- ja käyttörajatiloissa taulukoissa G4...G8. Tämän soveltamisohjeen liitteessä 1 on esitetty sillansuunnittelussa tarvittavat kuormitusyhdistelyt murto- ja käyttörajatiloissa.

B.5.6 Onnettomuuskuormat

Onnettomuuskuormat käsitellään tämän soveltamisohjeen kappaleessa F. Standardin SFS-EN 1991-2 kappaleessa 5.6 esitetyt vaatimukset ovat voimassa ja niitä on noudatettava.

B.5.7 Kevyen liikenteen dynaamiset mallit

Ks. kappale G.4.3.2. Lisäohjeita voidaan antaa myös materiaaliakohtaisissa soveltamisohjeissa. Asianomainen viranomainen voi antaa hankekohtaisesti lisäohjeita mukavuuskriteerejä koskien.

B.5.9 Siltöjen maatumien ja niihin liittyvien muurien kuormat

Kevyen liikenteen väylillä maanpainetta aiheuttavana pystykuorman arvona käytetään 10 kN/m^2 . Kuorma vaikuttaa koko hyödyllisellä leveydellä.

Maatuen otsamuureihin (otsamuurin mitoituksessa) vaikuttaa sillan pituussuuntainen jarrukuorma 60 kN ja samanaikainen pystysuuntainen kuorma 100 kN sekä täyttömaan maanpaine. Penkereellä sillan takana sijaitsevasta liikenteestä johtuvia vaakasuuntaisia kuormia ei tarvitse ottaa huomioon samanaikaisesti (ks. standardin SFS-EN 1991-2 kuva 4.11).

Maatuen siipimuurin mitoituksessa tarkastetaan lisäksi tilanne, jossa hyötykuormana on liikennekuorman (10 kN/m²) aiheuttama maanpaine ja pyöräkuorma 50 kN siipimuurin päällä. Siiven päällä olevaa pyöräkuormaa ei tarvitse ottaa huomioon halkeilulaskennassa.

B.6 Rautatieliikennekuormat ja muut erityisesti rautatiesiltoja koskevat kuormat

B.6.1 Soveltamisala

Siltöjen käyttöolosuhteista riippuvat erityisvaatimukset, kuten esimerkiksi vinoja siltoja ja tilapäisiä siltoja koskevat vaatimukset voidaan esittää hankekohtaisissa suunnitteluperusteissa.

Tilapäiset sillat mitoitetaan kuten pysyvät sillat, mutta α -kerroin voidaan valita vastaamaan tilapäisen käytön aikana esiintyvää suurinta rautatieliikennekuormaa.

B.6.2 Rautatieliikennekuormien erittely syntytapansa mukaan

B.6.3 Pystykuormien ominaisarvot (staattiset vaikutukset) sekä kuormituksen epäkeskisyys ja jakautuminen

B.6.3.1 Yleistä

Junakuorma koostuu junan staattisia kuormia kuvaavasta kuormakaaviosta, junan dynaamisia kuormia kuvaavista pysty- ja vaakasuuntaisista lisäkuormista sekä keskipakokuormasta.

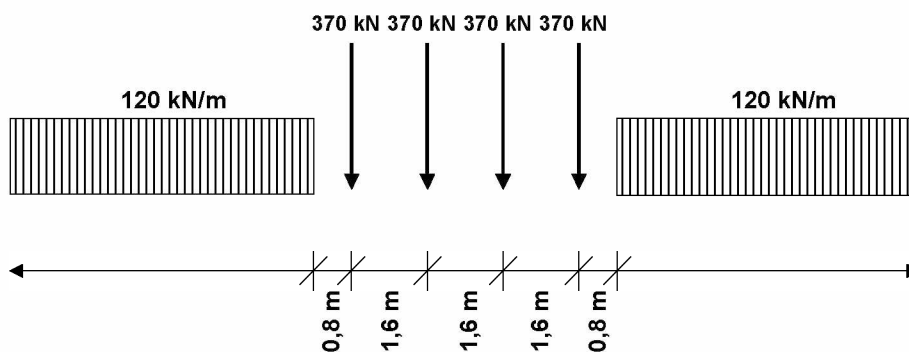
Seuraavat junakuormat muunnetaan vastaamaan rautatieliikenteen kaluston sallittuja akselipainoja kertomalla ne luokittelukertoimella α :

- Kuormakaavioiden LM71 ja SW/O pystysuuntaiset ja vaakasuuntaiset komponentit murto- ja käyttörajatilassa seuraavia poikkeuksia lukuun ottamatta:
 - Käyttörajatilan matkustajamukavuuskriteerejä tarkistettaessa ei kuormakaavioiden komponentteja tarvitse luokitella
 - Väsymisrajatilaa tarkistettaessa ei kuormakaavioiden komponentteja tarvitse luokitella
- Sillan kannella suistuneen junan pysty- ja vaakasuuntaiset kuormakomponentit
- Rautatieliikenteestä aiheutuvat maanpaineet

B.6.3.2 Kuormakaavio LM71

Kuormakaavio LM71 kuvaa levossa olevan normaalin rautatieliikenteen, jonka kaluston sallittu akselipaino on 22,5 tonnia, aiheuttamia pystysuoria ominaiskuormia. Kuormakaavio LM71 muodostuu neljästä ominaisakselikuormasta Q_{vk} ja ominaisnauhakuormasta q_{vk} . Akselikuormat ja nauhakuorma sijoitetaan sillalle siten, että saavutetaan määräävä vaikutus. Nauhakuorma voi olla epäjatkuva ja vaikuttaa kuinka monella osapituudella tahansa. Peräkkäisten akselikuormien lukumäärä voi vaihdella välillä 0...4 raidetta kohti.

Suomessa uudet rautatiesillat mitoitetaan kalustolle, jonka sallittu akselipaino on 35 tonnia. Kuormakaavio LM71 muunnetaan vastaamaan tätä kuormitusta kertomalla se 35 tonnin kalustoa vastaavalla luokittelukertoimella $\alpha = 1,46$. Näin saatua luokiteltua kuormakaaviota merkitään tunnuksella LM71-35.



Kuva B.2 Luokiteltu kuormakaavio LM71-35

Taulukossa B.6 on esitetty kerroin α ja kuormakaavion LM71 ominaisarvojen luokitellut arvot (akselikuormat ja nauhakuormat) kaluston sallitun akselipainon funktiona.

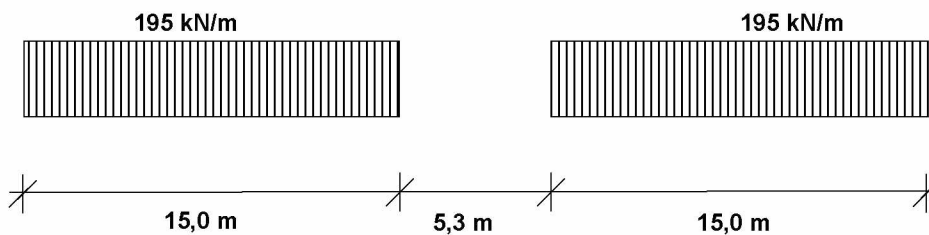
Taulukko B.6 Kaluston sallittua akselipainoa vastaavan luokitellun kuormakaavion tunnuksat sekä vastaavat staattiset nauhakuormien ja akselikuormien arvot.

Kaluston sallittu akselipaino [kN]	Luokitellun kuormakaavion tunnus	Kerroin α	Luokitellun kuormakaavion akseli-kuorma Q_v [kN]	Luokitellun kuorma-kaavion nauha-kuorma q_v [kN/m]
350	LM71-35	1,46	370	120
300	LM71-30	1,33	330	106
275	LM71-27,5	1,21	300	96
250	LM71-25	1,10	275	88
225	LM71-22,5	1,00	250	80
170	LM71-17	0,75	188	60

Käyttörajan siirtymien tarkastelu tehdään käyttäen luokiteltuja kuormakaavioita lukuun ottamatta matkustajamukavuuden tarkastelua, jolloin käytetään luokittelematonta kuormakaaviota ($\alpha = 1,00$).

B.6.3.3 Kuormakaaviot SW/0 ja SW/2

Kuormakaavio SW/0 kuvaa levossa olevan normaalin rautatieliikenteen, jonka kaluston sallittu akselipaino on 22,5 tonnia, aiheuttamia pystysuoria ominaiskuormia jatkuvilla rakenteille. Kuormakaavio SW/0 muodostuu kahdesta erillisestä ominaisnauhakuormasta q_{vk} . Kuormakaavio sijoitetaan sillalle siten, että saavutetaan määräävä vaikutus. Jatkuvat rakenteet mitoitetaan sekä kuormakaavioille LM71 että kuormakaavioille SW/0. Kuormakaavio SW/0 luokitellaan kuten LM71. Näin saatua luokiteltua kuormakaaviota merkitään tunnuksella SW/0-35.



Kuva B.3 Luokiteltu kuormakaavio SW/0-35

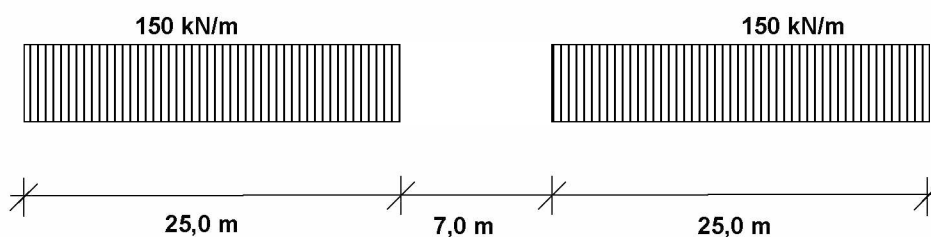
Taulukko B.7 Kaluston sallittua akselipainoa vastaavan luokitellun kuormakaavion tunnuksat jatkuvilla rakenteille sekä vastaavat staattiset nauha-kuormien arvot.

Kaluston sallittu akselipaino [kN]	Luokitellun kuormakaavion tunnus	Kerroin α	Luokitellun kuormakaavion nauha-kuorma q_v [kN/m]
350	SW/0-35	1,46	195
300	SW/0-30	1,33	177
275	SW/0-27,5	1,21	161
250	SW/0-25	1,10	146
225	SW/0-22,5	1,00	133
170	SW/0-17	0,75	100

Kuormakaavio SW/2 kuvaa levossa olevan raskaan rautatieliikenteen aiheuttamia pystysuoria ominaiskuormia. Kuormakaavio SW/2 muodostuu kahdesta erillisestä ominaisnauhakuormasta. Kuormakaavio sijoitetaan sillalle siten, että saavutetaan määräävä vaikutus.

Kuormakaaviota SW/2 ei luokitella.

Kuormakaaviota SW/2 käytetään raskaan liikenteen radoilla ja sen käyttötarve ja ne rataosat, joissa kuormakaaviota SW/2 sovelletaan, esitetään hankekohtaisissa suunnitteluperusteissa.



Kuva B.4 Kuormakaavio SW/2

B.6.3.4 Kuormakaavio "kuormittamaton juna"

Kuormakaavio "kuormittamaton juna" koostuu tasaisesti jakautuneesta kuormasta, jonka ominaisarvo q_{vk} on 10,0 kN/m ja joka voi vaikuttaa kuinka monella raiteen osapituudella tahansa.

Kuormakaaviota "kuormittamaton juna" tulee yleensä tarkastella vain mitoitettaessa rakenteita, joiden varassa on yksi raide.

Kuormakaaviota "kuormittamaton juna" ei luokitella.

B.6.3.5 Pystykuormien epäkeskisyys (kuormakaaviot 71 ja SW/0)

Kuormakaavion epäkeskisyys raiteen keskiviivaan nähden millä tahansa yhdellä raiteella on ± 88 mm. Väsytyksimitoituksessa tätä epäkeskisyyttä ei tarvitse ottaa huomioon.

Raiteen sijainnin toleranssiksi oletetaan ± 120 mm. Useamman raiteen sillalla raiteet sijoitetaan epäedullisimmalla tavalla.

Ratapiha-alueilla ja muualla, missä on varauduttava raiteiston aseman muutoksiin, rautatiesillat tulee suunnitella niin, että muutokset ovat mahdollisia ja että rautatiekuorma voi sijaita sillan myöhemmällä levennyksellä ja vanhan ja uuden rakenteen välisellä saumaosalla.

B.6.3.6 Akselikuormien jakautuminen kiskojen, ratapölkkyjen ja tukikerroksen välityksellä

Akselikuormasta oletetaan 50 % kuormittavan sen alla olevaa pölkkyä ja 25 % kohdistuu kummallekin tämän pölkyn viereiselle pölkylle.

Paikallisia vaikutuksia mitoitettaessa (esim. kansilaatan läpileikkautuminen) oletetaan kuormien jakaantuvan tukikerroksessa pölkyn alapinnasta alaspäin kaltevuudessa 4:1 pituus- ja poikkisuuntaan.

Rakenteen päällä olevassa yli 1,4 m korkeassa pengertäytteessä junakuorman voidaan otaksua jakautuvan "Ratatekniset ohjeet" (RATO) osassa 3.8 "Radan rakenne" esitetyllä tavalla.

Pengertä tukevien ja lähellä rataa sijaitsevien rakenteiden mitoituksessa tulee ottaa huomioon rautatieliikenteen pituus-, poikki- ja pystysuuntaiset kuormat. Laskettaessa maatuojien ja tukimuurien maanpaineita sekä kyseisten rakenteiden perustusten päällä olevia liikennekuormia luokitellun junakuorman voidaan otaksua jakautuvan

3,0 m leveäksi tasaiseksi kuormaksi 500 mm syvyydellä korkeusviivasta. Tällöin ei kuorman dynaamista suurennuskerrointa tarvitse ottaa huomioon.

B.6.3.7 Yleisöltä suljettujen kulkukäytävien kuormat

Huoltokäytävät mitoitetaan erikseen tasan jakautuneelle pystysuuntaiselle kuormalle, jonka ominaisarvo on 5 kN/m², ja pistekuormalle 2,0 kN, joka on jakautunut tasan 200*200 mm² alueelle.

Tarkastuskäytävän, joka sijaitsee sillan kannen alla ja jonne ei ole pääsyä matkustajien poistuessa junasta sillalle hätätilanteessa, voidaan käyttää tasaisena kuormana 4 kN/m².

B.6.3.8 Laiturialueen kuormat

Silloilla, joilla on rautatieliikenteen laiturit, tulee laiturialueen kuormat huomioida sekä yhdistellä liikennekuormien ja muiden samanaikaisten muuttuvien kuormien kanssa. Laiturirakenteiden omanpainon lisäksi käytetään pintakuormaa 12 kN/m² sekä yhtä 120 kN akselia, jonka pyöräkuormien kosketuspinta-ala on 0,3 x 0,3 m² ja joiden välinen etäisyys on 1,7 m. Lisäksi otetaan huomioon vaakasuora jarrukuorma 90 kN. Hankekohtaisesti niin määrättäessä voidaan laiturialueella ottaa myös huomioon pelastusajoneuvojen nostokaluston kuormat tai tieliikenteen kuormakaaviot.

Laiturialueen hyötykuormat yhdistellään muiden kuormien kanssa siten, kuin ne olisivat huoltokäytävien kuormia (liite 1B, ML). Kun laiturialueella otetaan tieliikenteen kuormakaaviot huomioon, määritetään kuormien yhdistely hankekohtaisesti.

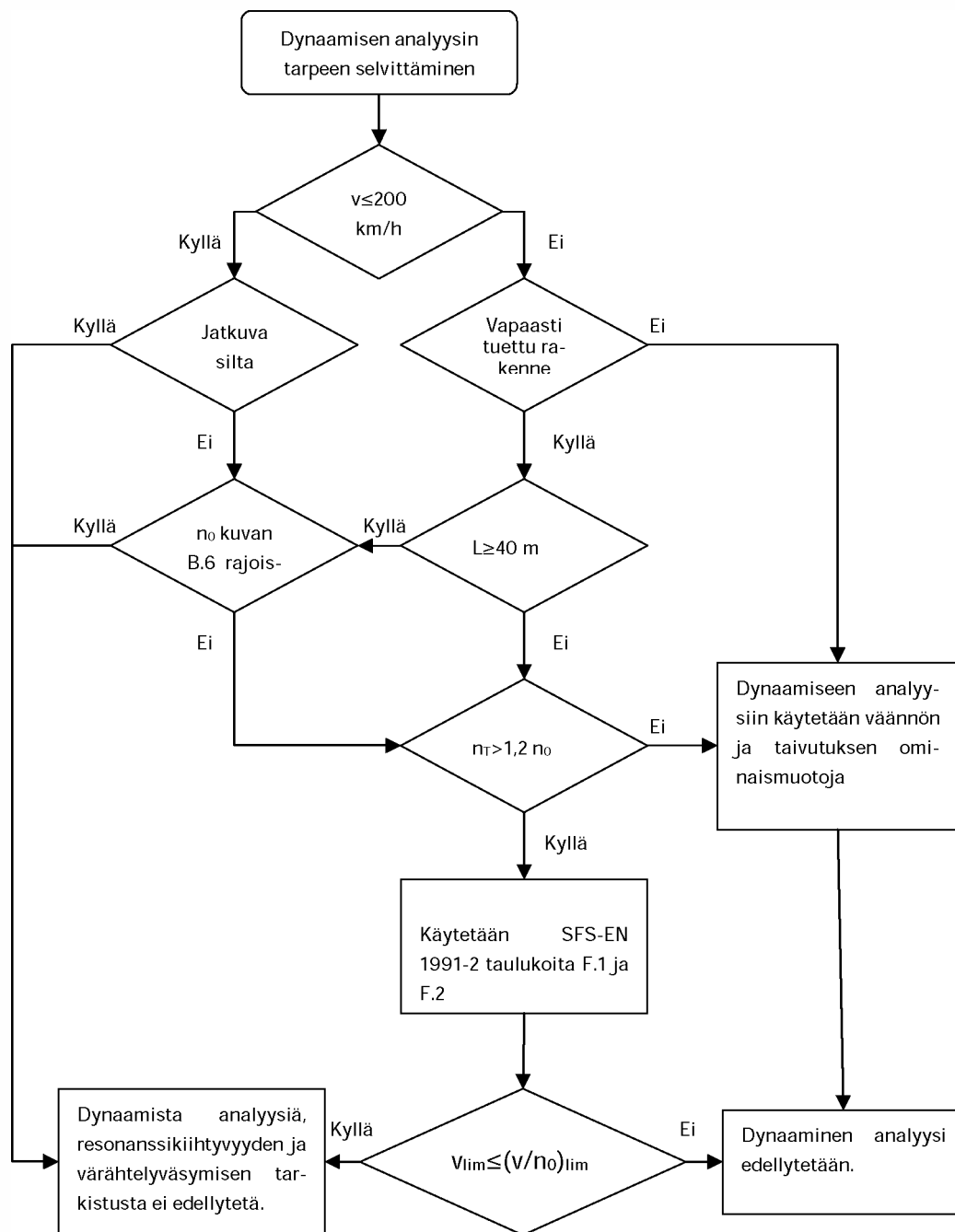
B.6.4 Dynaamiset vaikutukset (resonanssi mukaan luettuna)

Kuorman liikkumisen vaikutukset rautatieliikenteen kuormanvaikutuksiin (jännitykset, taipumat, sillan kannen kiihtyvyys jne.) tulee ottaa huomioon.

Dynaamisiin ominaisuuksiin vaikuttavat mm.:

- liikenteen nopeus
- rakenneosan jännemitta L
- rakenteen massa
- rakenteen ominaistaajuuDET ja ominaismuodot
- akseleiden lukumäärä, akselikuormat ja akselivälit
- rakenteen vaimennus
- raiteen epäsäännöllisyyDET
- liikennevälineen massa ja ripustusominaisuudet
- kansirakenne tai radan päällysrakenne
- liikennevälineen epätarkkuudet

Vaatimukset, joiden perusteella selvitetään, edellytetäänkö staattinen vai dynaaminen analyysi, esitetään kuvassa B.5.



Kuva B.5 Dynaamisen analyysin tarpeen määrittäminen

Tavanomaiset rautatiesillat tulee lähtökohtaisesti suunnitella siten, ettei dynaamista analyysiä eikä resonanssikihtyvyyden ja värähtelystä johtuvaa väsymisen tarkistusta tarvita. Tavanomaisista poikkeavissa silloissa suunnitteluperusteet tulee sopia hanketohtaisesti asianomaisen viranomaisen kanssa.

Kuvassa B.5

V on suurin sillan kohdalla sallittu nopeus [km/h]
 L on jännemitta [m]
 n_0 on pysyvien kuormien kuormittaman sillan alin ominaistaajuus taivutuksessa [Hz]
 n_π on pysyvien kuormien kuormittaman sillan alin ominaistaajuus väännössä [Hz]
 v_{lim} on suurin nimellisnopeus [m/s]
 $(v/n_0)_{lim}$ esitetään SFS-EN 1991-2 liitteessä F.

Ominaistaajuuden n_0 ylärajan määräävät raiteen epäsäännöllisyyksistä johtuvat dynaamiset lisävaikutukset, ja se saadaan kaavasta:

$$n_0 = 94,76 \cdot L^{-0,748} \quad (\text{B.6})$$

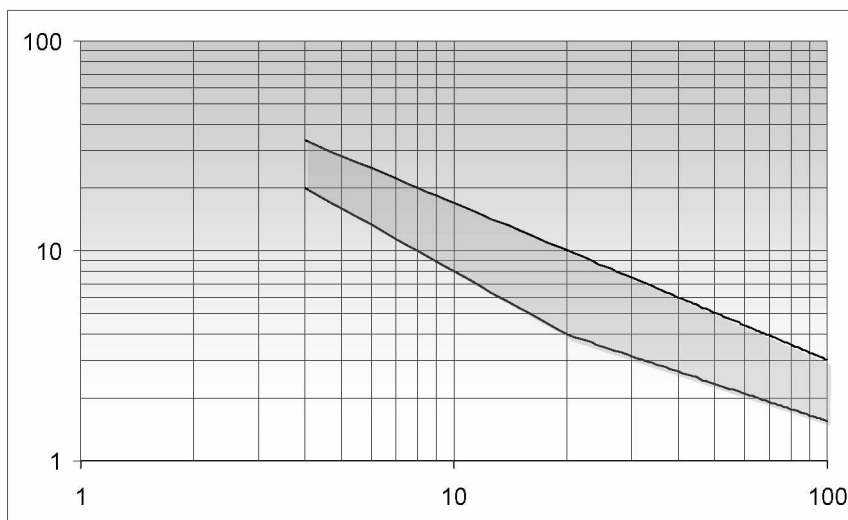
Ominaistaajuuden n_0 alarajan määräävät dynaamiset sysäyskriteerit, ja se saadaan kaavasta:

$$n_o = \begin{cases} 80/L & , \text{ kun } 4 \text{ m} \leq L \leq 20 \text{ m} \\ 23,58 \cdot L^{-0,592} & , \text{ kun } 20 \text{ m} \leq L \leq 100 \text{ m} \end{cases} \quad (\text{B.7})$$

missä:

n_0 on sillan alin ominaistaajuus, kun otetaan huomioon pysyviä kuormia vastaava massa ja

L on vapaasti tuetun sillan jännemitta tai L_Φ muuntotyypisillä silloilla.



Kuva B.6 Sillan ominaistaajuuden n_0 [Hz] (pysty akseli) rajat jännemittan L [m] (vaaka-akseli) funktiona. Tummennettuna alue, jolla ei tarvitse suorittaa dynaamista analyysia.

B.6.4.5 Dynaaminen suurennuskerroin Φ (Φ_2 , Φ_3)

Junakuorman dynaaminen suurennuskerroin kuvaa liikkuvan junan sysäysten aiheuttamia pystysuoran ominaiskuorman lisäyksiä. Sysäysten vaikutus kuormakaavioihin LM71, SW/0 ja SW/2 saadaan kertomalla kuormakaavio dynaamisella suurennuskertoimella Φ_1 tai Φ_2 .

Uudet sillat mitoitetaan huolellisesti kunnossapidetyn radan dynaamiselle suurennuskertoimelle Φ_2 .

$$\Phi_2 = \frac{1,44}{\sqrt{L_\Phi} - 0,2} + 0,82 \quad (\text{B.8})$$

Sysäyskertoimen raja-arvot ovat:

$$1,00 \leq \Phi_2 \leq 1,67$$

Sysäyskertoimen laskennassa käytettävä jännemitta L_Φ on esitetty SFS-EN 1991-2 taulukossa 6.2.

SFS-EN 1991-2 taulukon 6.2 tapauksissa 1.4, 2.3, 3.4, ja 4.6 voidaan käyttää suositusarvosta poiketen arvoa Φ_2 . Hankekohtaisesti voidaan määrätä Φ_3 käytettäväksi.

Kerroin Φ_3 saadaan kaavasta:

$$\Phi_3 = \frac{2,16}{\sqrt{L_\Phi} - 0,2} + 0,73 \quad (\text{B.8})$$

Sysäyskertoimen raja-arvot ovat:

$$1,00 \leq \Phi_3 \leq 2,00$$

Rautatieliikenteen kuormittamat kansilaatan pituussuuntaiset enintään 0,5 m pituiset ulokkeet ja pääkannattimen siirtymälaataalla varustetut enintään 2,5 m pituiset ulokkeet mitoitetaan dynaamiselle suurennuskertoimelle $\Phi_3 = 2,00$.

Rautatieliikenteen kuormittamat kansilaatan yli 0,50 m pitkät ja pääkannattimen yli 2,5 m pitkät pituussuuntaiset siirtymälaataalla varustetut ulokkeet edellyttävät erityistarkastelua SFS-EN 1991-2 kohdan 6.4.6 mukaisesti käyttäen kuormia, joista sovitaan asianomaisen viranomaisen kanssa.

Kun siltarakenteen päällä on peitettä h (rakenteen yläpinnan ja pölkyn yläpinnan välinen mitta) enemmän kuin 1 m, sysäyskerrointa voidaan pienentää seuraavalla kaavalla.

$$\Phi_r = \Phi_2 - \frac{h - 1,00}{10} \geq 1,0 \quad (\text{B.9})$$

Teräsputkisilloilla voidaan L_Φ :n arvona käyttää putkisillan vapaata aukkoa.

B.6.5 Vaakasuuntaisten kuormien ominaisarvot

B.6.5.1 Keskipakokuormat

Junakuorman keskipakokuorma kuvaa kaarteessa liikkuvan junan aiheuttamia poikittaissuuntaisia ominaiskuormia. Keskipakokuorma vaikuttaa 2 m korkeudella kiskon selästä. Keskipakokuorma F on rakennetta kuormittavan, luokitellusta kuormakaa-viosta LM71-35 lasketun, pystykuorman P (kN) (ilman sysäyslisää Φ_2), kaarresäteen R (m) ja sillan kohdalla sallitun nopeuden v (m/s) funktio.

$$F = P \cdot \frac{v^2}{9,81 \cdot R} \quad (\text{B.10})$$

Kuormakaa-vioiden LM71 ja SW/O yhteydessä käytettävä vähennyskerroin f yli 120 km/h sallitulle nopeudelle saadaan SFS-EN 1991-2 kohdan 6.5.1. kaavasta 6.19, taulukosta 6.7 tai kuvasta 6.16.

B.6.5.2 Sivusysäyskuorma

Junakuorman sivusuuntaisen lisäkuorma kuvaa liikkuvan junan sivusuuntaisten sysäysten aiheuttamat ominaiskuormat. Sivusysäyskuorman ominaiskuorman suuruus on 100 kN.

Sivusysäyskuorma luokitellaan. Luokiteltu sivusysäyskuorma on 146 kN ($\alpha = 1,46$).

Sivusysäyskuorman oletetaan vaikuttavan siltaan missä kohtaa tahansa korkeusviivan tasolla.

B.6.5.3 Vedosta ja jarrutuksesta aiheutuvat kuormat

Veto- ja jarrukuormat vaikuttavat kiskon selän korkeudella ja kuvaavat liikkuvan ka-luston aiheuttamia pituussuuntaisia ominaiskuormia.

Ominaisvetokuorma:

$$Q_{lak} = 33 [kN/m] \cdot L_{a,b} [m] \leq 1000 kN \quad (\text{B.11})$$

Ominaisjarrukuorma:

$$Q_{ljk} = 20 [kN/m] \cdot L_{a,b} [m] \leq 6000 kN \quad (\text{B.9})$$

joissa $L_{a,b}$ on veto- ja jarrukuormien tarkasteltavan rakenneosan tarkastelupituus, jol-la veto- tai jarrukuorman oletetaan vaikuttavan tasaisesti jakautuneena. Silloilla, joil-la on vähintään kaksi raidetta, tulee kahdelle raiteelle asettaa vaikuttamaan veto- tai jarrukuorma. Toisen raiteen ominaisjarrukuorma voidaan rajoittaa arvoon 1000 kN.

Sillan veto- ja jarrukuormat luokitellaan. Luokiteltujen veto- ja jarrukuormien suu-rimmat arvot, kun $\alpha = 1,46$, ovat $Q_{la,max} = 1460$ [kN] ja $Q_{lj,max} = 8760$ [kN].

Hankekohtaisesti voidaan määritellä lisävaatimukset henkilöliikenneraiteille ja yli 300 m pitkille silloille.

Veto- ja jarrukuormia ei tarkastella kuormakaavion "kuormittamaton juna" yhteydessä.

Sillan ja raiteen yhteistoiminnan kautta osa veto- ja jarrukuormista kulkeutuu penkereeseen sillan ulkopuolelle riippuen sillan rakenteesta, kiskotuksesta (jatkuvakiskoraide, pitkäkiskoraide, lyhytkiskoraide, kiskonliikuntalaite) ja liikkuvan kaluston ominaisuuksista.

Veto- ja jarrukuormien jakautuminen raiteen ja rakenteiden kesken lasketaan ottamalla sillan ja raiteen yhteistoiminta huomioon (ks. B.6.5.4 ja SFS-EN 1991-2 kohta 6.5.4).

Veto- ja jarrukuormien jakautuminen raiteen ja rakenteiden kesken voidaan laskea myös oheisella yksinkertaistetulla tavalla (tällöin $L_{a,b}$ = sillan pituus):

Sillalla, jossa on tukikerros ja jatkuvakiskoraide, voidaan vedosta ja jarrutuksesta aiheutuvien kuormien ominaisarvoja vähentää 50 %, kuitenkin enintään 600 kN. Sillalla, jonka vain toisessa päässä on kiskonliikuntalaite, voidaan näiden kuormien ominaisarvoja vähentää vastaavasti 25 %, kuitenkin enintään 300 kN. Tällöin sillan ominaisveto- ja ominaisjarrukuormat vähennyksineen kerrotaan kertoimella luokittelukertoimella α .

Vapaasti tuetulla sillalla, jossa on tukikerros ja jatkuvakiskoraide ja jonka siltakannen pituus on alle 10,0 m, ei veto- ja jarrukuormia tarvitse ottaa sillan päällysrakenteen laskelmissa huomioon.

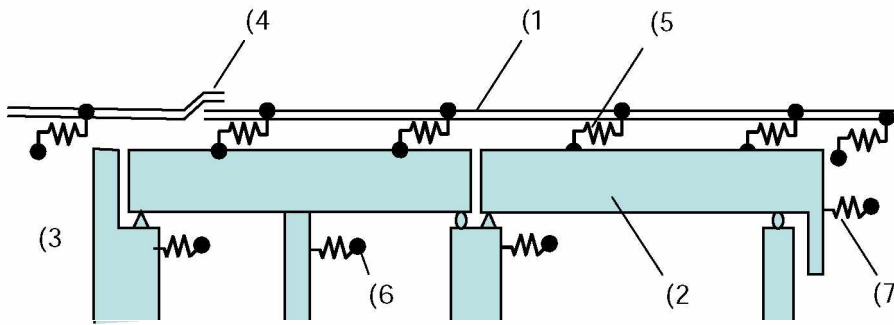
Standardin EN1991-2 kohdan 6.5.4.5.1 (1) mukaisissa raiteen sallituissa lisäjännityksissä ei tarvitse ottaa huomioon lämpötilakuormia, mikäli jatkuvakiskoraiteet ovat tukikerroksisella sillalla ankkuroitu asianmukaisesti.

Siltajonon yksittäisen siltalohkon pituussuuntainen veto- ja jarrukuorma voidaan määrittää prosenttiosuutena koko siltajonolle tulevas-ta veto- ja jarrukuormasta.

Radoilla, jotka välittävät erikoisliikennettä (esim. henkilöliikenneradat), veto- ja jarrukuormina voidaan käyttää 25 % "todellisen junan" niiden akselikuormien summasta, jotka vaikuttavat kussakin tarkasteltavassa kuormitustapauksessa, ominaisvetokuorman enimmäisarvon ollessa 1000 kN ja ominaisjarrukuorman enimmäisarvon ollessa 6000 kN. Luokitellut veto- ja jarrukuormat saadaan käyttämällä kaluston sallittua akselipainoa vastaavaa α -kerrointa ($\alpha \geq 1$). Erikoisliikennettä välittävät radat ja niihin liittyvät kuormituksen yksityiskohdat mukaan lukien muu radalle sallittu liikenne, esim. raiteen kunnossapitoon ym. käytettävät junat, määritellään hankekohtaisesti.

B.6.5.4 Muuttuvista kuormista syntyvä raiteen ja siltarakenteen yhteisvaste muuttuville kuormille

Sillan ja raiteen välinen yhteistoiminta voidaan mallintaa alla olevaa kuvaa soveltaen kuormanvaikutusten määrittämiseksi.

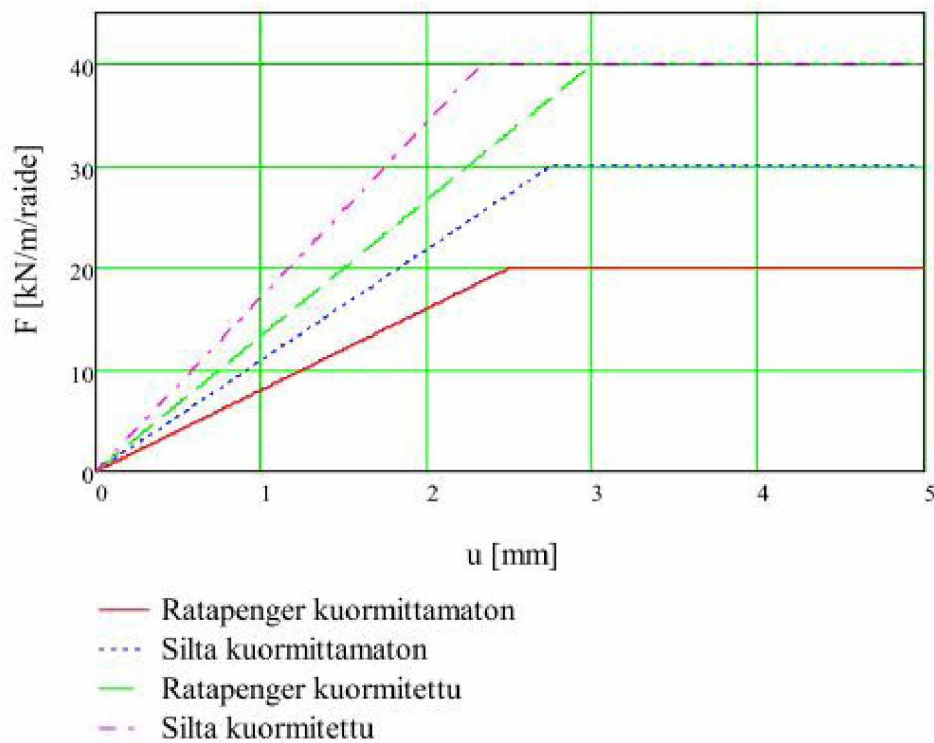


- (1) raide
- (2) päällysrakenne (koostuen kahdesta lohkoista)
- (3) penkere
- (4) mahdollinen kiskonliikuntalaite
- (5) pituussuuntainen bi-lineaarinen jousi, joka kuvaa kiskoon vaikuttavan pituussuuntaisen kuorman ja siirtymäeron välistä yhteyttä
- (6) pituussuuntainen jousi, joka kuvaa sillan alusrakenteeseen vaikuttavan pituussuuntaisen kuorman ja siirtymäeron välistä yhteyttä
- (7) pituussuuntainen bi-lineaarinen jousi, joka kuvaa siltakannen päähän vaikuttavan pituussuuntaisen kuorman ja siirtymäeron välistä yhteyttä

Kuva B.7

Pysty- ja poikkisuuntaisten kuormien ja siirtymien välistä yhteyttä voidaan kuvata jousilla kuvan B.7 mukaisesti.

Kuvassa B.8 on esitetty kiskon ja maan välisen pituussuuntaisen yhteistoiminnan bi-lineaarinen siirtymän ja voiman välinen yhteys.



Kuva B.8

Kiskon ja maan välinen pituussuuntainen yhteistoiminta

B.6.7 Suistumiskuormat ja muut rautatiesiltöjen kuormat

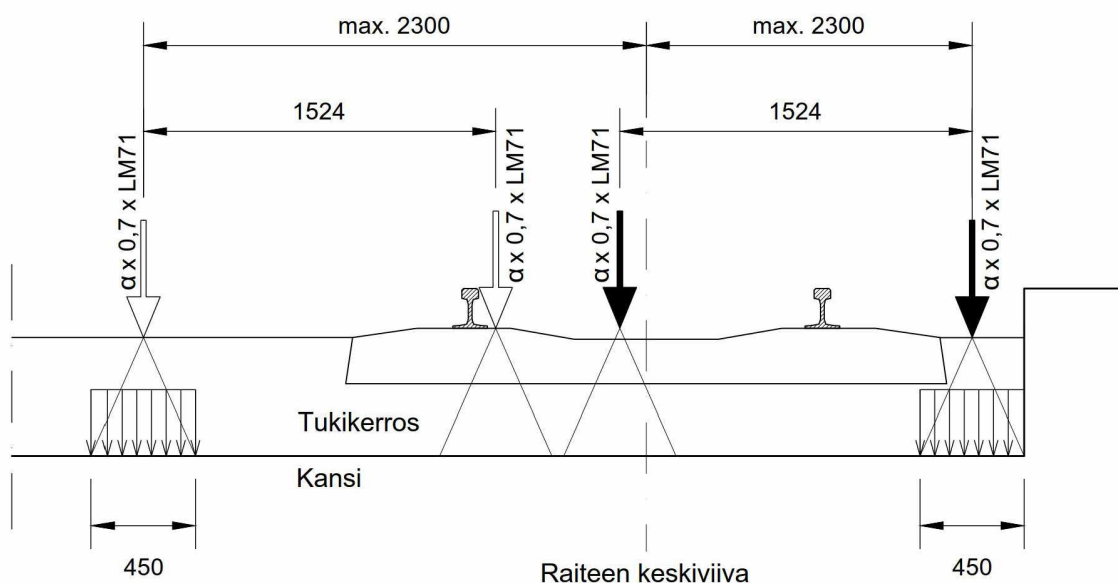
B.6.7.1 Rautatiesiltään kohdistuvat junan suistumiskuormat

Rautatiesillat mitoitetaan kahdelle suistumistilanteelle. Suistumistilanteessa käytettävä rautatieliikenteen pystykuorma on $1,4 \times \alpha \times LM71$, joka sijoitetaan siltakannelle leveyssuunnassa kahdella eri tavalla.

Onnettomuustilanne I

Juna suistuu, mutta viereinen kisko tai kannen rakenne estää junaa etääntymästä raiteesta (ks. kuva B.9).

Mitoituskuorma onnettomuustilanteessa I on $1,4 \times \alpha \times LM71$ (otetaan huomioon kuorma LM71 kokonaisuudessaan). Kuorma jakautuu raiteen suuntaisesti kahdeksi pyöräkuormaksi kuvan B.9 mukaisesti. Kuorma voi olla enintään 2,3 m raiteen keskiviivan kummalla tahansa puolella (ulompi pyöräkuormarivi 2,3 m raiteen keskiviivasta ja sisempi 0,8 m keskiviivasta). Tukikerroksellisessa sillassa pistekuorma voidaan kohdistaa kannella $450 \times 450 \text{ mm}^2$ alueelle ja tasaisesti jakautunut kuorma 450 mm leveydelle.



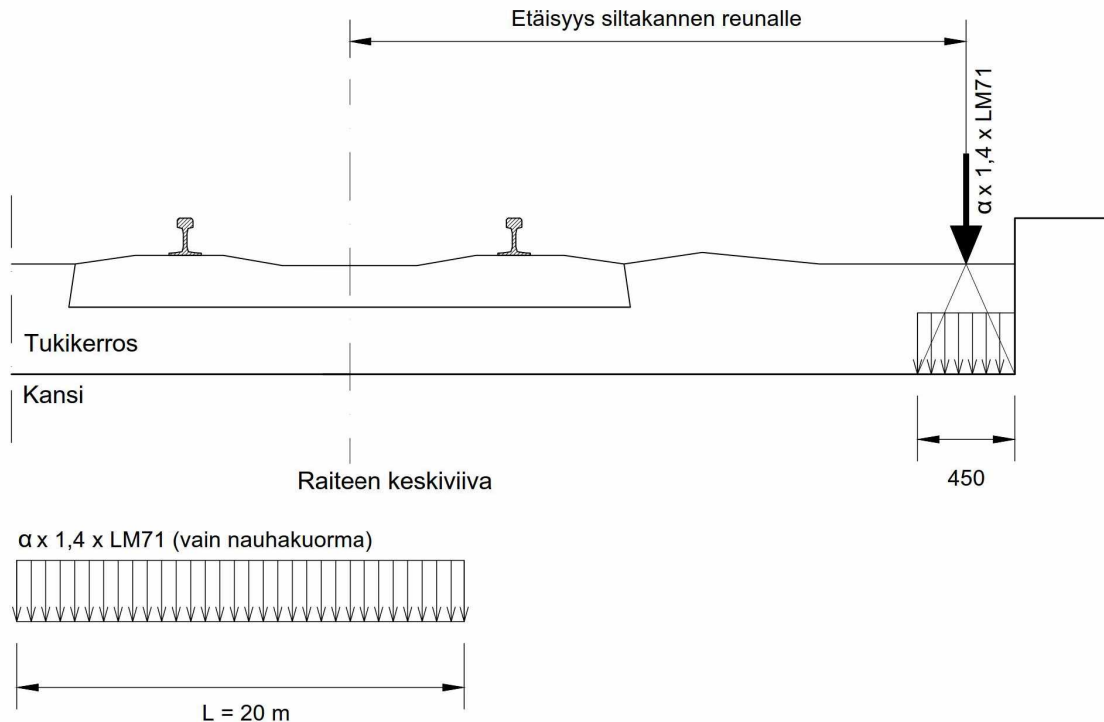
Kuva B.9 Junan suistumisen onnettomuustilanne I

Onnettomuustilanne II

Juna suistuu ja kuormittaa sillan reunaa, ei kuitenkaan sekundaarisia rakenteita kuten huoltokäytäviä (ks. kuva B.10).

Mitoituskuorma onnettomuustilanteessa II on $1,4 \times \alpha \times LM71$ (otetaan huomioon vain LM71:n nauhakuorma). Kuorma jakautuu yhdeksi pyöräkuormaksi 20 m kokonaispituudelle. Tukikerroksellisessa sillassa kuorma voidaan kohdistaa kannella 450 mm

levyiselle alueelle. Onnettomuustilannetta II käytetään tarkasteltaessa rakenteen murtolujuutta tai vakavuutta jäykkänä rakenteena.



Kuva B.10 Junan suistumisen mitoitustilanne II

Onnettomuustilanteet I ja II eivät vaikuta samanaikaisesti. Onnettomuustilanteissa silta ei saa sortua, mutta paikallinen vaurio sallitaan. Onnettomuustilanteessa II silta ei saa myöskään kaatua kokonaisuutena. Paikallisen vaurion tapauksessa pyörä saa lävistää kannen, mutta juna ei saa pudota sillalta.

Kiskoilta suistunut juna voidaan pysäyttää rakenneosilla, jotka mitoitetaan onnettomuustilanteessa vallitsevalle vaakakuormalle ja jotka ovat riittävän korkeita pysäyttämään junan. Vaakakuorman suuruudeksi voidaan otaksua 20 % onnettomuustilanteen pystykuormasta.

Vaatimukset suojakiskojen käytölle on annettu Ratatekniset ohjeet (RATO) osassa 8. Uusilla rautatiesilloilla suojakiskojen käytöstä huolimatta onnettomuustilanteet I ja II sekä vaakakuorma tulee ottaa päällysrakenteen mitoituksessa huomioon täysimääräisinä, jollei hankekohtaisesti päätetä toisin. Suojakiskot eivät myöskään vaikuta suistumiskuormien sijaintiin sillan kannella.

B.6.7.2 Junan suistuessa rakenteen alapuolella tai vieressä ja muut onnettomuusmitoitustilanteissa syntyvät kuormat

Onnettomuuskuormat käsitellään tämän soveltamisohjeen osiossa F.

B.6.7.3 Muut kuormat

Lämpötilavaihtelun vaikutus kiskoissa tulee ottaa huomioon sillalla, joka on kaarteessa ja jossa on jatkuvakiskoraide ilman kiskonliikuntalaitteita. Tämän kuorman voidaan otaksua olevan ± 1000 kN/raide ja vaikuttavan raiteen suunnassa.

Raiteen ankkuroinnin aiheuttamat kuormitukset tulee ottaa huomioon.

Rakenteisiin kohdistuvat varusteiden ja laitteiden (mm. sähköradan rakenteet) aiheuttamat kuormitukset tulee ottaa huomioon.

B.6.8 Rautatiesiltöjen kuormittaminen liikennekuormilla

Rakenne tulee suunnitella raiteiden määrän ja sijainnin perusteella ottaen huomioon sijaintitoleranssit. Raiteiden sijainti ja toleranssit voidaan määrittellä myös hankekohtaisissa suunnitteluperusteissa. Pystykuormien epäkeskisyyttä käsitellään kappaleen B.6.3.5 mukaan.

Kuormakaavio LM-71 vaikuttaa täydellä arvolla korkeintaan kahdella raiteella. Mikäli rakenteen varassa on enemmän kuin kaksi raidetta, tarkastetaan rakenne myös tapaukselle, jossa kaikki raiteet on kuormitettu $0,75 \cdot LM-71$.

Jatkuvat sillat tulee kuormakaavion LM71 lisäksi tarkistaa käyttäen kuormakaaviota SW/O.

Kuormakaavio SW/O vaikuttaa täydellä arvolla korkeintaan kahdella raiteella. Mikäli rakenteen varassa on enemmän kuin kaksi raidetta, tarkastetaan rakenne myös tapaukselle, jossa kaikki raiteet on kuormitettu $0,75 \cdot SW/O$.

Kuormakaaviosta SW/2 aiheutuvien epäedullisimpien kuormanvaikutusten määrittämistä varten tulee rakenteen kuormaksi asettaa:

- SW/2 vaikuttamaan yhdelle raiteelle, kun rakenteen varassa on vain yksi raide
- SW/2 vaikuttamaan yhdelle raiteelle ja LM71 tai SW/O toiselle raiteelle, kun rakenteen varassa on vähintään kaksi raidetta.

Jos dynaaminen analyysi edellytetään, tulee siltöjen mitoitusta tarkistaa tarvittaessa myös kuormakaavion "todellinen juna" ja kuormakaavion HSLM aiheuttamaa kuormitusta käyttäen.

Siirtymätilaa ja värähtelyä tarkistettaessa tulee pystykuormituksena käyttää kuormakaavioita:

- LM71 ja lisäksi jatkuvilla rakenteilla SW/O

sekä hankekohtaisesti niin määrättäessä

- SW/2
- HSLM
- "todellinen juna"

Sillan kannen siirtymä- ja värähtelyrajoja tarkistettaessa raiteita kuormitetaan siten, että kaikki raiteisiin liittyvät asianmukaiset liikennekuormat otetaan mukaan luokiteltuna.

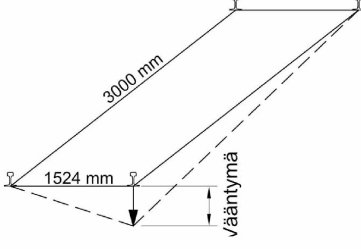
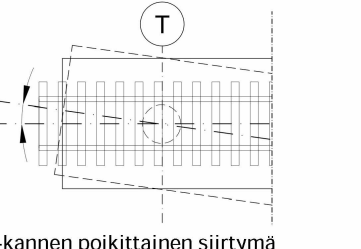
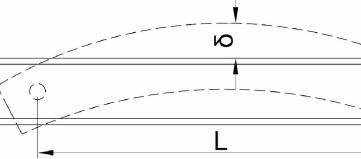
Taulukko B.8 Siirtymä- ja värähtelyrajojen tarkistusta varten kuormitettavien raiteiden lukumäärä

Rajatilakriteerit ja muut hyväksyntäkriteerit	Raiteiden määrä sillalla		
	1	2	≥ 3
Liikenteen turvallisuuden tarkistukset:			
Kannen vääntymä (twist) (SFS-EN 1990 kohta A2.4.4.2.2)	1	1 tai 2 ^{a)}	1 tai 2 tai 3 tai enemmän ^{b)}
Kannen pystytaipuma raiteen kohdalla (SFS-EN 1990 kohta A2.4.4.2.3)	1	1 tai 2 ^{a)}	1 tai 2 tai 3 tai enemmän ^{b)}
Kannen poikittainen muodonmuutos (SFS-EN 1990 kohta A2.4.4.2.4)	1	1 tai 2 ^{a)}	1 tai 2 tai 3 tai enemmän ^{b)}
Sillan ja raiteen yhteisvaste muuttuvien kuormien vaikuttaessa, mukaan lukien kannen pään pystysuuntainen ja pituussuuntainen siirtymä (SFS-EN 1991-2 kohta 6.5.4)	1	1 tai 2 ^{a)}	1 tai 2 ^{a)}
Kannen pystysuuntainen kiihtyvyys (SFS-EN 1991-2 kohta 6.4.6 ja SFS-EN 1990 kohta A2.4.4.2.1)	1	1	1
Käyttörajatitarkistukset:			
Matkustajamukavuuskriteerit (SFS-EN 1990 kohta A2.4.4.3)	1	1	1
Murtorajatitarkastelut			
Nousu laakereilta (EN1990 kohta A2.4.4.1(2)P)	1	1 tai 2 ^{a)}	1 tai 2 tai 3 tai enemmän ^{b)}

^{a)} valitaan epäedullisin

^{b)} kuormitettavien raiteiden määrä valitaan taulukon B.10 mukaan

Taulukko B.9 Siirtymä- ja värähtelyrajojen mitoituskuormat ja sallitut arvot

Rajatilakriteerit ja muut hyväksyntäkriteerit	≤ 200 km/h	>200 km/h	Mitoituskuormitus (KRT ominaisyhdistelmä)
Liikenteen turvallisuuden tarkistukset			
<p>Kannen vääntymä (twist) (SFS-EN 1990 A2.4.4.2.2) 3 m matkalla raideleveydellä 1,524 m</p> 	3,2 mm	1,6 mm	LM71, SW/0, SW/2, HSLM, CF keskipako-kuorma [F, a = 1,46]
<p>Kannen pystytaipuma raiteen kohdalla (SFS-EN 1990 A2.4.4.2.3) - kannen ulokkeen L kpl H.12.3 mukaan</p>	L/600	L/600	LM71, SW/0, SW/2 [F, a = 1,46]
<p>Kannen poikittainen muodonmuutos (SFS-EN 1990 A2.4.4.2.4) -kannen kulmanmuutos vaakatasossa raiteen kohdalla (kansiulokkeen päässä) [rad]</p>  <p>-kannen poikittainen siirtymä</p> 	0,0020	0,0015	LM71, SW/0 tai tod.juna sysäyslisineen, NF sivusysäys, CF keskipako-kuorma, tuulikuorma Fwk, sillan poikittainen lämpötilaero [F, a = 1,46]
<p>Sillan ja raiteen yhteisvaste (SFS-EN 1991-2 6.5.4) -kannen pään vaakasiirtymä veto-/jarrukuormasta (yksinkertaistetulla laskentamallilla tarkasteltaessa, ks. B 6.5.3) -kannen pään vaakasiirtymä pystysuorasta juna-kuormasta -kannen pään pystysiirtymä viereisen tuen tai kannen pään suhteen</p>	10 mm ^{b)} (5 mm suhteessa maatukeen tai toisen kannen)	10 mm ^{b)} (5 mm suhteessa maatukeen tai toisen kannen)	LM71, SW/0, SW/2, ULT, T&B, NF, CF-L, SW/0-L, SW/2-L, ULT [F = 1,0, a = 1,46]
<p>Kannen pystysuuntainen kiihtyvyys (SFS-EN 1991-2 6.4.6 ja SFS-EN 1990 A2.4.4.2.1) -tukikerroksellisilla silloilla -kiintoraiteisilla silloilla</p>	<3,5 m/s ² <5,0 m/s ²	<3,5 m/s ² <5,0 m/s ²	Todellinen juna
Sillan poikittainen ominaisvärähtelytaajuus (SFS-EN 1990 A2.4.4.2.4 (3))	>1,2 Hz	>1,2 Hz	

Matkustajamukavuuskriteerit			
SFS-EN 1990 kohta A2.4.4.3.2 Taipuman raja-arvo: $\delta = L/k$ Muut k:n arvot interpoloidaan	k=1000, $L \leq 15m$ ^{d)} k=1525, $L=37m$ ^{d)} k=600, $L \geq 90m$ ^{d)}	k=1400, $L \leq 25m$ ^{d)} k=2300, $L=56m$ ^{d)} k=1150, $L=120m$ ^{d)}	$\Phi \times \alpha \times LM71$ [F, a = 1] Yksi raide kuormitettuna
Nousu laakereilta			
Murtorajatilatarkastelut (EN1990 kohta A2.4.4.1(2)P)	Rakenteen kestettävä laakerilta nousu tai laakeri on suunniteltava vetoa kestäväksi.	Rakenteen kestettävä laakerilta nousu tai laakeri on suunniteltava vetoa kestäväksi.	Murtorajatilayhdistelyt 6.10a ja 6.10b
Käyttörajatilatarkastelut	Laakeri ei saa mennä vedolle.	Laakeri ei saa mennä vedolle.	Ominaisiyhdistelyt 6.14
Onnettomuusrajatilatarkastelut	Rakenteen kestettävä laakerilta nousu tai laakeri on suunniteltava vetoa kestäväksi.	Rakenteen kestettävä laakerilta nousu tai laakeri on suunniteltava vetoa kestäväksi.	Onnettomuusrajatilayhdistelyt 6.11

a) moniaukkoisilla ei-jatkuvilla silloilla taipuman raja-arvot ovat $L^2/76000$, kun $v \leq 200km/h$ ja $L^2/140000$, kun $v > 200km/h$. Jännemitan L yksikkönä käytetään metriä.

b) 30 mm yksinkertaistetulla laskentamallilla tarkasteltaessa, kun kansirakenteen molemmissa päissä on kiskonliikuntalaite ja tukikerros on jatkuva kannen päissä. 30 mm ylittävät siirtymät tulee sallia vain, kun käytetään tukikerroksen katkaisulaitetta ja kiskonliikuntalaitetta.

c) annettu arvo on voimassa, kun raiteen ja siltarakenteen yhteistoiminta otetaan huomioon (ja kansirakennetta kohti on korkeintaan yksi kiskonliikuntalaite). Arvo on 10 mm, kun raiteen ja siltarakenteen yhteistoiminta jätetään huomiotta.

b) + c) Yhteenlaskettu arvo ei saa ylittää 13 mm, kun ei käytetä kiskonliikuntalaitetta.

d) annetut arvot ovat ei-jatkuvalla 3- tai useampijänteiselle sillalle (Taipumarajat vastaavat kannen pystykiihtyvyyden $1 m/s^2$ mukavuustasoa, hankekohtaisesti voidaan käyttää alemmaa mukavuustasoa).

1- tai 2-jänteisellä ei-jatkuvalla sillalla tai jatkuvalla 2-jänteisellä sillalla k:n arvot voidaan jakaa 0,7:llä (esim. $L/1000 \rightarrow L/700$)

3- tai useampijänteisellä jatkuvalla sillalla k:n arvot voidaan jakaa 0,9:llä, yli 120m pitkällä jännemitoilla on tehtävä erillinen analyysi

Ratapihoilla ja paikoissa, joissa liikkuva kalusto voi olla pysäköitynä rakenteelle pidemmäksi aikaa, tulee kuormituksen vaikutus rakenteen kuivatukseen ottaa huomioon.

Radan ylittävän sillan tai muun vastaavan rakenteen tulee täyttää aukean tilan ulottuman vaatimukset myös siirtyneessä tilassaan.

Taulukossa B.10 on esitetty rautatieliikenteen kuormien (pystykuormat ja rautatieliikenteestä aiheutuvat vaakakuormat) mahdollisesti mitoittavat kombinaatiot yhtä raidekohden. Liikennekuorman komponentit yhdistellään esitettyjen kertoimien mukaan siten, että saadaan aikaan kuormituksen vaarallisin vaikutus tarkasteltavalle rakennosalle. Liikenteen vaakakuorman komponentti ei voi esiintyä ilman liikenteen pystysuoraa komponenttia. Vaakakuormien ominaisarvo lasketaan täyden pystykuorman arvolla.

Taulukko B.10 Liikennekuorman pysty- ja vaakakomponenttien yhdistäminen

Kuorma-ryhmä	Kuormitetut raiteet	Pystykuormat		Pituussuuntaiset vaakakuormat (jarru- ja veto-kuorma)		Poikkisuuntaiset vaakakuormat (sivusysäys ja keskipakokuorma)	
		min	max	min	max	min	max
Suurin pitiussuuntainen kuorma (LM71 tai SW/0)	1...2	0,5	1,0	0	1,0	0	0,5
Suurin poikisuuntainen kuorma (LM71 tai SW/0)	1...2	0,5	1,0	0	0,5	0	1,0
Useampi-raiteinen silta (LM71 tai SW/0)	≥3	0,5	0,75	0	0,75	0	0,75
Kuormittamaton juna	1	1,0	1,0	0	0	0	1,0

Rautatieliikenteen kuormat yhdistellään muiden kuormien kanssa. Rautatiesiltöjen yhdistelykertoimet (Y_0 , Y_1 ja Y_2) esitetään taulukossa G.3 ja kuormitusyhdistelyt murto- ja käyttörajatiloissa taulukoissa G.4...G.8. Tämän soveltamisohjeen liitteessä 1 on esitetty sillansuunnittelussa käytettävät kuormitusyhdistelyt murto- ja käyttörajatiloissa.

Rautatieliikennettä tukevat tilapäiset rakenteet mitoitetaan kuten pysyvät rakenteet. Tilapäiset rakenteet voidaan mitoittaa käyttäen niitä kuormittavaa "todellista juna" vastaavia kuormia.

B.6.9 Väsyttävät liikennekuormat

Väsymistarkastelu tulee suorittaa kaikille kantaville osille, joissa jännitys vaihtelee.

Väsyminen selvitetään normaalin liikenteen tapauksessa, joka perustuu kuorma-kaavion LM71 ominaisarvoihin, dynaaminen suurennuskerroin Φ_2 mukaan luettuna, käyttämällä perusteena sekaliikennetyyppejä "vakioliikenne", "liikenne 250 kN akselin" tai "kevyt sekaliikenne" siitä riippuen, kuormittaako rakennetta sekaliikenne, ensisijaisesti raskas tavaraliikenne vai kevyt henkilöliikenne rakenteelle määritettyjen vaatimusten mukaisesti. SFS-EN 1991-2 liitteessä D esitetään tarkastelussa käytettyjä juna ja sekaliikennetyyppejä sekä käytettävää dynaamista lisä vaikutusta koskevia tietoja. Vaatimukset voidaan määritellä hankekohtaisesti.

Jokainen oletettu sekaliikennetyyppi perustuu sillan jokaisen raiteen vuodessa ylittävään liikenteen määrään 25×10^6 tonnia.

Rakenteille, joiden varassa on usea raide, väsyttävä kuormitus tulee asettaa vaikuttamaan enintään kahdelle raiteelle epäedullisimpiin paikkoihin.

Väsymisen aiheuttama vaurioituminen määritetään rakenteen suunnitellun käyttöiän ajaksi.

Dynaamisen analyysin edellyttämissä kohteissa tulee värähtelyn vaikutus ottaa huomioon väsytystarkastelussa.

Väsymistarkastelussa otetaan huomioon rautatieliikenteen aiheuttamat pystykuormat dynaamisine vaikutuksineen sekä keskipakokuormat. Yleensä sivusysäyskuormat ja pituussuuntaiset liikennekuormat voidaan väsymistarkastelussa jättää huomiotta.

Joissakin erityistilanteissa, esim. sillan tukiessa pääteasemien raiteita, pituussuuntaisten kuormien vaikutus otetaan erikseen huomioon väsymistarkastelussa.

C Tuulikuormat (SFS-EN 1991-1-4)

Kaikki standardissa SFS-EN 1991-1-4 sekä sen kansallisessa liitteessä esitetyt siltoja koskevat vaatimukset ovat voimassa ja niitä on noudatettava, vaikka tässä soveltamisohjeessa kaikkiin standardissa esitettyihin asioihin ei otetakaan kantaa.

Tässä soveltamisohjeessa esitetyt tuulenpaineen arvot on laskettu standardin SFS-EN 1991-1-4 mukaisesti otaksuen tuulennopeuden modifioimattomalle perusarvolle $v_{b,0}$ arvo 23 m/s.

[Huom.: tuulenpaineen laskennassa on käytetty (eurokoodin eräistä tulkinnoista poiketen) myös liikennekuorman kanssa samaan aikaan esiintyvälle tuulennopeuden modifioimattomalle perusarvolle ($v_{b,0}$) edellä mainittua arvoa 23 m/s.]

Esitettyjä tuulenpaineen arvoja voidaan soveltaa pienten ja keskisuurten tavanomaisien siltöjen suunnittelussa, kun silta on tyypiltään standardin SFS-EN 1991-1-4 kuvan 8.1 mukainen. Mikäli tuulikuorma on merkittävä sillan suunnittelun kannalta, sillalle tehdään tarkempi tuulianalyysi. Tämän soveltamisohjeen menettelyä voidaan soveltaa myös muihin kuin standardin SFS-EN 1991-1-4 kuvan 8.1 siltatyyppeihin hankekohtaisesti niin sovittaessa. Edelleen hankekohtaisesti saatetaan vaatia erillinen dynaaminen analyysi.

Siltaan kohdistuvan poikittaisen tuulenpaineen arvo saadaan taulukosta C.1 (sama taulukko on esitetty standardin SFS-EN 1991-1-4 kansallisessa liitteessä kohdassa 8.3.2(1)).

Taulukko C.1 Siltaan kohdistuva tuulen paine

Taulukko 8.2(FI). Siltaan kohdistuva tuulen paine [kN/m^2] kun tuulen nopeus on 23 m/s.

Maasto- luokka	0		I		II		III		IV	
b/d_{tot}	$z_e \leq 20\text{m}$	$z_e = 50\text{m}$	$z_e \leq 20\text{m}$	$z_e = 50\text{m}$	$z_e \leq 20\text{m}$	$z_e = 50\text{m}$	$z_e \leq 20\text{m}$	$z_e = 50\text{m}$	$z_e \leq 20\text{m}$	$z_e = 50\text{m}$
$\leq 0,5$	3,58	4,18	2,54	3,02	2,23	2,75	1,73	2,28	1,30	1,86
$\geq 4^a$	1,94	2,26	1,37	1,64	1,21	1,49	0,94	1,24	0,71	1,01
$\geq 5^b$	1,49	1,74	1,06	1,26	0,93	1,15	0,72	0,95	0,54	0,77

^a Koskee siltaa, jossa kaiteet ovat avoimet, ts. kaiteen projektiopinta-alasta yli 50 % on avointa.

^b Koskee siltaa, jossa on yhtä aikaan esiintyvä liikennekuorma tai kaiteet ovat suljetut (kysymyksessä on umpikaide tai kaide, jonka projektiopinta-alasta vähemmän kuin 50 % on avointa).

jossa b = siltakannen leveys
 d_{tot} = siltakannen korkeus
 z_e = siltakannen painopisteen etäisyys maan pinnasta

Siltakannella olevan tieliikenteen korkeudeksi oletetaan $d^* = 2,0$ metriä ja rautatie-liikenteen korkeudeksi $d^* = 4,0$ metriä jotka lasketaan mukaan mittaan d_{tot} . Kevyen liikenteen silloille ei otaksuta tuulikuorman vaikutuspinta-alaan vaikuttavaa liikennettä. Kun kaiteen projektiopinta-alasta on alle 50 % avointa lasketaan kaiteen korkeus mukaan mittaan d_{tot} .

Väliarvot voidaan interpoloida taulukoista. Yleensä voidaan käyttää maastoluokan II arvoja, ellei asianomainen viranomais hankekohtaisesti toisin määrää. Suurilla silloilla ja erikoissilloilla voidaan käyttää myös muita arvoja asianomaisen viranomaisen

hankekohtaisesti niin määrätessä. Tuulikuormat vinoköysi- ja riippusiltöjen sekä kaa-ri- ja vastaavien siltöjen eri rakenneosiin on määräteltävä hankekohtaisesti.

Sillan pituussuuntaiset tuulikuormat ovat palkki- ja laattasilloilla 25 % poikittaisista tuulikuormista ja ristikkosilloilla 50 % poikittaisista tuulikuormista ellei hankekohtaisesti muuten määrätä.

Pystysuuntaiset tuulikuormat voidaan määrätellä standardin SFS-EN 1991-1-4 kohdan 8.3.3 mukaan

Mikäli tuulikuorma sillan pilareihin on merkittävä sillan suunnittelun kannalta, otetaan kuorma huomioon standardin SFS-EN 1991-1-4 kappaleen 8.4 ja siihen liittyvän kansallisen liitteen mukaisesti (tuulenpaine saadaan kansallisen liitteen taulukoista 8.4a(FI) ja 8.4b(FI) ellei hankekohtaisesti sovita muuta menettelyä).

Poikittaisen tuulikuorman vaikutusala $A_{ref,x}$ laskettaessa käytettävä siltakannen korkeus saadaan taulukosta C.2 (vrt. standardin SFS-EN 1991-1-4 kuva 8.5 ja taulukko 8.1).

Taulukko C.2 Siltakannen korkeuden määritys

	toisella puolella	molemmilla puolin
Avoin kaide (> 50% avoin):	$d + 0,3$ [m]	$d + 0,6$ [m]
Umpikaide:	$d + d_1$ [m]	$d + 2 \times d_1$ [m]
Liikenteen kanssa:	$d + d^*$ [m]	

d = siltakannen korkeus, d_1 = umpikaiteen korkeus, d^* = liikenteen korkeus

Silloissa, joissa pääkannattimet ovat pinnaltaan yhtenäisiä, huomioidaan tuulen vaikutusalaan valmiissa rakenteessa sillan sivuprojektioala ja rakentamisen aikana kahden pääkannattimen sivuprojektioala. Ristikkorakenteilla tuulen vaikutusalaan huomioidaan jokaisen peräkkäisen ristikon umpinaisten osien sivuprojektioala.

Kevytrakenteisilla tai katetuilla silloilla on lisäksi otettava huomioon tuulen aiheuttama noste.

Tuulikuorman yhdistelykertoimet (Y_0 , Y_1 ja Y_2) esitetään tämän soveltamisohjeen taulukoissa G.1 (tieliikenteen silloille), G.2 (kevyen liikenteen silloille) ja G.3 (rauta-tieliikenteen silloille).

Tuulikuorma yhdistellään muiden kuormien kanssa taulukoiden G.4...G.8 mukaisesti.

D Lämpötilakuormat (SFS-EN 1991-1-5)

Kaikki standardissa SFS-EN 1991-1-5 sekä sen kansallisessa liitteessä esitetyt siltöjä koskevat vaatimukset ovat voimassa ja niitä on noudatettava, vaikka tässä soveltamisohjeessa kaikkiin standardissa esitettyihin asioihin ei otetakaan kantaa.

D.6.1 Siltöjen päällysrakenteet

Siltöjen päällysrakenteet ryhmitellään kolmeen ryhmään seuraavasti:

Tyyppi 1: Teräspäällysrakenne

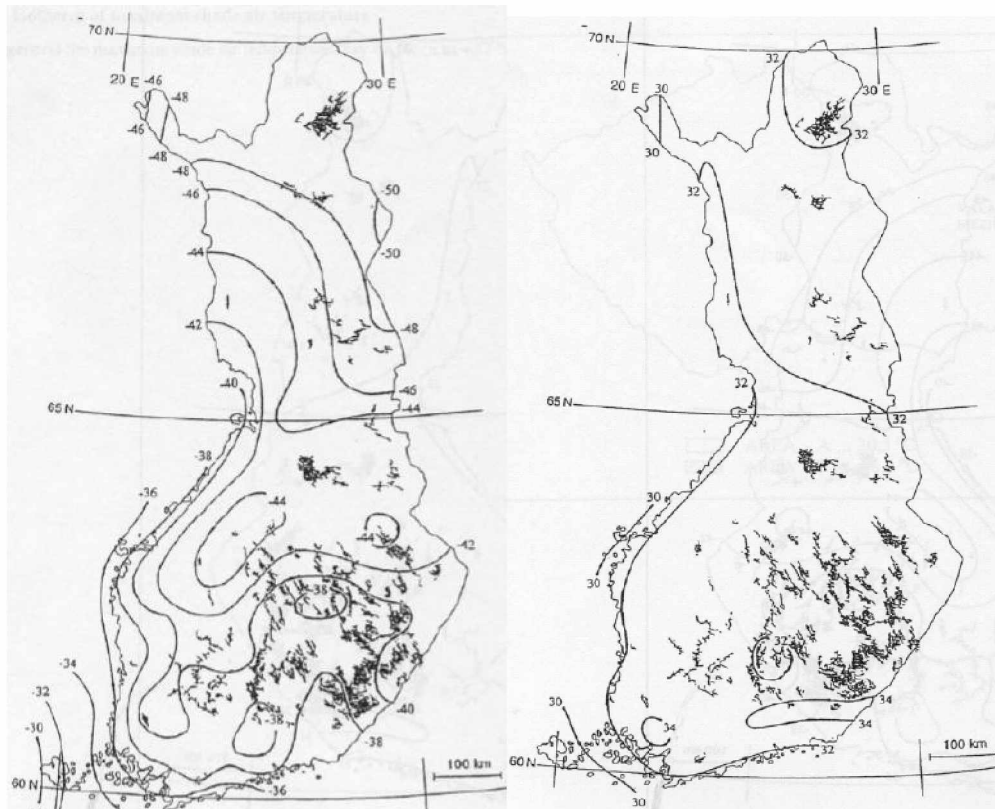
Tyyppi 2: Liittöppäällysrakenne

Tyyppi 3: Betonipäällysrakenne

Eri siltötyyppien poikkileikkauksia on esitetty standardin SFS-EN 1991-1-5 kuvissa 6.2a...6.2c.

Siltöjen maksimilämpötiloina pidetään lämpötilöjä, jotka ovat terässilloilla 16 °C, liittöpalkkisilloilla 4 °C, ja betonisilloilla 2 °C lämpimämmät kuin varjossa mitatut ilman maksimilämpötilat. Vastaavasti siltöjen minimilämpötilat ovat terässilloilla 3 °C alemmat ja liittöpalkkisilloilla 4 °C ja betonisilloilla 8 °C ylemmät kuin ilman minimilämpötilat. Sama asia on esitetty standardin SFS-EN 1991-1-5 kuvassa 6.1. Puusilloilla voidaan soveltaa betonisiltöjen arvoja, ellei tarkempaa selvitystä tehdä hankekoh-
taisesti.

Lämpötilan ääriarvot Suomessa on esitetty kuvassa D.1. (samat kuvat ovat standardin SFS-EN 1991-1-5 kansallisessa liitteessä, 6.1a(FI) ja 6.1b(FI)).



Kuva D.1 Lämpötilan ääriarvot Suomessa

Sillan alkulämpötilaksi T_0 voidaan otaksua standardin SFS-EN 1991-1-5 liitteen A suositusarvo ($10\text{ }^{\circ}\text{C}$) kun alkulämpötila ei ole ennakoitavissa, muuten valitaan arvioitu alkulämpötila.

Mikäli betonin todellinen sitoutumislämpötila aiheuttaa rakenteeseen merkittäviä siirtymiä ja/tai jännityksiä (verrattuna alkulämpötilaan T_0), tulee vaikutukset ottaa huomioon yleisesti hyväksytyillä menetelmillä.

Kun määritetään laakerien ja liikuntasaumalaitteiden liikevaroja, oletetaan liikevaroihin ylimääräistä varmuutta kappaleen H.8 mukaisesti.

Yleensä lämpötilaero täytyy ottaa huomioon vain pystysuunnassa. Standardissa SFS-EN 1991-1-5 esitetään pystysuuntaiselle lämpötilaerolle kaksi eri menetelmää; lineaarinen lämpötilaero sekä epälineaarinen lämpötilaero.

Yleensä voidaan käyttää lineaarista lämpötilaeroa. Standardin kuvien 6.2a...6.2c mukaisissa teräskantisissa terässilloissa, teräksisissä liittopalkkisilloissa ja vastaavan poikkileikkauksen betonisilloissa (kotelo), lineaarisen lämpötilaeron lisäksi rakenne on tarkistettava hyppäykselliselle lämpötilaerolle eri rakenneosien välillä (mitoitusarvot on esitetty jäljempänä tässä kappaleessa), ellei tarkastelua tehdä em. kuvien mukaan epälineaarisesti.

Lineaarinen pystysuuntainen lämpötilaero voidaan määrittää taulukosta D.1 (vrt. standardin SFS-EN 1991-1-5 taulukko 6.1).

Taulukko D.1 Lineaariset pystysuuntaiset lämpötilaerot

Päällysrakennetyyppi:	Yläpinta lämpimämpi $\Delta T_{M,heat}$ (°C)	Alapinta lämpimämpi $\Delta T_{M,cool}$ (°C)
Tyyppi 1: Teräspäällysrakenne	18	13
Tyyppi 2: Liittopäällysrakenne	15	18
Tyyppi 3: Betonipäällysrakenne		
betonikotelo	10	5
betonipalkki	15	8
betonilaatta	15	8

Taulukossa D.1 esitetyt arvot perustuvat 50 mm päällystepaksuuteen. Taulukossa D.2 on esitetty lämpötilaeron korjauskerroin k_{sur} eri päällystepaksuuksille. Väliarvot voidaan interpoloida. (vrt. standardin SFS-EN 1991-1-5 taulukko 6.2).

Taulukko D.2 Lämpötilaeron korjauskerroin

Tiesillat, kevyen liikenteen sillat ja rautatiesillat: korjauskerroin k_{sur}						
Päällysteen paksuus [mm]:	Tyyppi 1		Tyyppi 2		Tyyppi 3	
	$\Delta T_{M,heat}$ (°C)	$\Delta T_{M,cool}$ (°C)	$\Delta T_{M,heat}$ (°C)	$\Delta T_{M,cool}$ (°C)	$\Delta T_{M,heat}$ (°C)	$\Delta T_{M,cool}$ (°C)
päällystämätön:	0,7	0,9	0,9	1,0	0,8	1,1
vesieristetty:	1,6	0,6	1,1	0,9	1,5	1,0
50	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
100	0,7	1,2	1,0	1,0	0,7	1,0
150	0,7	1,2	1,0	1,0	0,5	1,0
750 (tukikerros)	0,6	1,4	0,8	1,2	0,6	1,0

Betonikotelokannattimien seinämissä oletetaan lineaarinen lämpötilaero $\pm 15^\circ\text{C}$.

Kuten päällysrakenteissa, myös välitukipilareissa käytetään yleensä lineaarista lämpötilaeroa. Vastakkaisten ulkopintojen välinen lämpötilaero on 5°C ja seinämien sisä- ja ulkopintojen välinen lämpötilaero on 15°C .

Eri rakenneosien välille syntyvän lämpötilaeron vaikutukset otetaan huomioon seuraavasti:

- $\pm 15^\circ\text{C}$ vetotangon ja kaaren välillä
- $\pm 10^\circ\text{C}$ vaaleiden riippu-/vinoköysien ja muun rakenteen välillä
- $\pm 20^\circ\text{C}$ tummien riippu-/vinoköysien ja muun rakenteen välillä
- $+20 / -5^\circ\text{C}$ terässilloilla kannen ja palkkien/kotelon välillä
- $\pm 10^\circ\text{C}$ liittopalkkisilloilla kannen ja palkkien välillä
- $\pm 5^\circ\text{C}$ betonisilloilla kannen ja palkkien/kotelon välillä

Eri rakenneosien välille syntyvän lämpötilaeron vaikutukset lisätään lämpötilan muutoksesta aiheutuviin vaikutuksiin (kuitenkin siten, että yksittäisen rakenneosan kuvan D.1 avulla määritettyä maksimi-/minimilämpötilaa ei ylitetä)

Lämpötilan muutos ja lämpötilaero yhdistellään mitoitus varten kaavoilla D.1 ja D.2 (vrt. standardin SFS-EN 1991-1-5 kaavat 6.3 ja 6.4). Tätä laskettua lämpötilakuormien vaikutusta (T_k) käytetään tämän soveltamisohjeen taulukoissa G.4...G.6 ja liitteessä 1 esitetyissä kuormitusyhdistelyissä.

$$\Delta T_{M,heat} \text{ (tai } \Delta T_{M,cool}) + 0,35 \times \Delta T_{M,exp} \text{ (tai } \Delta T_{M,con}) \quad (D.1)$$

$$0,75 \times \Delta T_{M,heat} \text{ (tai } \Delta T_{M,cool}) + \Delta T_{M,exp} \text{ (tai } \Delta T_{M,con}) \quad (D.2)$$

E Työnaikaiset kuormat (SFS-EN 1991-1-6)

Kaikki standardissa SFS-EN 1991-1-6 sekä sen kansallisessa liitteessä esitetyt siltoja koskevat vaatimukset ovat voimassa ja niitä on noudatettava, vaikka tässä soveltamisohjeessa kaikkiin standardissa esitettyihin asioihin ei otetakaan kantaa.

Ellei standardissa SFS-EN 1991-1-6 tai sen siltoja koskevassa kansallisessa liitteessä ole toisin määrätty, sovelletaan seuraavia kansallisia soveltamisohjeita:

- RIL 147-2006 Tukitelineet ja muotit
- RIL 181-1989 Rakennuskaivanto-ohjeet
- Työnaikaisten ratakaivantojen tukeminen (Ratahallintokeskuksen julkaisu A10/2001)
- TIEH 2000023-v-08 Siltöjen tukitelineet – 2007
- Eurokoodin soveltamisohje NCCI 4 - Teräs- ja liittorakenteiden suunnittelu.

F Onnettomuuskuormat (SFS-EN 1991-1-7)

Kaikki standardissa SFS-EN 1991-1-7 sekä sen kansallisessa liitteessä esitetyt siltöja koskevat vaatimukset ovat voimassa ja niitä on noudatettava, vaikka tässä soveltamisohjeessa kaikkiin standardissa esitettyihin asioihin ei otetakaan kantaa.

F.3 Mitoitustilanteet

Standardissa SFS-EN 1990 rakenteet on jaettu kolmeen seuraamusluokkaan CC1, CC2 ja CC3 (CC = Consequence Class) alla olevan taulukon mukaisesti.

Taulukko F.1 Seuraamusluokat

Seuraamusluokka	Kuvaus
CC3	Suuret seuraamukset
CC2	Keskisuuret seuraamukset
CC1	Pienet seuraamukset

(vrt. täydellinen taulukko B1 standardissa SFS-EN 1990)

Seuraamusluokkiin CC1, CC2 ja CC3 on edelleen liitetty (ks. kappale B3.2 standardissa SFS-EN 1990) kolme luotettavuusluokkaa RC1, RC2 ja RC3 (RC = Reliability Class). Kullekin luotettavuusluokalle on standardissa suositeltu tietty vähimmäisluotettavuus (käyttäen luotettavuusindeksiä β).

Taulukko F.2 Luotettavuusluokat

Luotettavuusluokka	Indeksin β vähimmäisarvot 50 vuoden tarkastelujakso
RC3	4,3
RC2	3,8
RC1	3,3

(vrt. täydellinen taulukko B2 standardissa SFS-EN 1990)

Eräs yksinkertainen keino, jolla luotettavuuden tasoluokitus voidaan käytännössä tehdä, on käyttää kuormille eri luotettavuusluokissa erilaista osavarmuuslukua γ_F . Kun kansallisessa liitteessä annetut kuormien osavarmuusluvut kerrotaan alla olevan taulukon mukaisilla kertoimilla K_{FI} , ja samalla rakenteellisen mitoituksen, valvonnan ja toteuttamisen tarkastustasot säilytetään muuttumattomina, voidaan olettaa, että saavutetaan taulukon F.2 mukainen luotettavuusluokka.

Taulukko F.3 Kuormakerroin K_{FI} eri luotettavuusluokissa

	Luotettavuusluokka		
	RC1	RC2	RC3
Kuormakerroin K_{FI}	0,9	1,0	1,1

Lähtökohtaisesti sillat sijoitetaan seuraamusluokkaan CC2. Tästä johtuen silloilla ei ole otettu Suomessa lainkaan käyttöön kuormakerrointa K_{FI} (joka on 1,0 seuraamusluokassa CC2).

Tilapäiset sillat ja sillat, joissa vaurioseuraamukset ovat lievät, voidaan asianomaisen viranomaisen päätöksellä sijoittaa hankekohtaisesti seuraamusluokkaan CC1.

Tällöin yhtenä mahdollisuutena seuraamusluokan CC1 rakenteissa on kuormakertoimen $K_{FI} = 0,9$ käyttö murtorajatilan kuormitusyhdistelyissä ja/tai yksittäisten rakenteiden kantokyvyn menettämisen salliminen (ks. standardin SFS-EN 1991-1-7 siltoja koskeva kansallinen liite, kohta 3.3 (2))

Mikäli mahdollisella onnettomuudella on oletettavissa suuret vaurion seuraukset eli ollaan seuraamusluokassa CC3, tehdään erillinen riskianalyysi ja mahdollisista toimenpiteistä päätetään hankekohtaisesti. Riskinarvioinnissa voidaan soveltaa standardin SFS-EN 1991-1-7 opastavaa liitettä B.

Yhtenä mahdollisuutena seuraamusluokan CC3 rakenteissa on kuormakertoimen $K_{FI} = 1,1$ käyttö ja/tai rakenteelliset toimenpiteet mahdollisen onnettomuuden todennäköisyyden tai onnettomuudesta seuraavien vaurioiden pienentämiseksi. Standardin SFS-EN 1991-1-7 kappaleen 3.3 esittämät toimintaperiaatteet, joiden mukaan rajoitetaan paikallisen vaurion laajuutta, määritellään hankekohtaisesti seuraamusluokan CC3 rakenteille.

Tämän soveltamisohjeen esittämät onnettomuusmitoitustilanteet soveltuvat sellaisenaan seuraamusluokkien CC1 ja CC2 rakenteiden mitoitukseen. Seuraamusluokan CC3 rakenteille onnettomuuskuormat määritellään riskianalyysin perusteella.

F.4 Törmäyskuormat

Silloissa otetaan yleensä huomioon ainoastaan kantaviin rakenteisiin kohdistuvat törmäykset. Muihin rakenteisiin kohdistuvat törmäykset otetaan huomioon ainoastaan, jos niistä on vaaraa sillan kantavuudelle tai sillan käyttäjille.

Kevytrakenteisien siltarakenteiden, kuten jännitettyjen elementtisiltojen, puusiltojen ja teräsiltojen ml. teräksien putkisiltojen, päällysrakenne on sijoitettava vähintään 1 m alitse kulkevalle ajoneuvoliikenteen tielle määritellyn vapaan korkeuden yläpuolelle ajoneuvon törmäyksen todennäköisyyden pienentämiseksi.

Ellei rakenteen haurasmurtuminen aseta rajoituksia rakenteen käyttäytymiselle, törmäystilanteessa rakenteen ja maan rajapinnan yhteistoimintaa voidaan pitää plastisena ja kestävyys ylärajana maan murtumista tai passiivipainetta.

Ajoneuvoliikenteen sillan kannen reunan tulee kestää kaikissa tilanteissa onnettomuuskuorma, joka koostuu keskeisesti reunapalkin päälle sijoitetusta pyöräkuormasta (LM 1:n tavallinen arvo) ja samanaikaisesti kaiteeseen vaikuttavasta törmäyskuormasta samassa kohdassa. Kaiteen pulttiryhmän kiinnitys reunapalkkiin ja reunapalkin paikallinen kestävyys mitoitetaan pelkästään kaiteen törmäyskuormalle.

Kaiteen törmäyskuorma määritetään standardin SFS-EN 1991-2 kohdan 4.7.3.3 (2) mukaisesti käyttämällä osavarmuuslukua 1,5. Yleensä seuraavat törmäyskuormat (sisältävät em. varmuusluvun) ovat riittävät sekä teräs- että betonikaiteille, kun pylsäväli on 2 m:

- kaiteen törmäyskestävyysluokka H2: momentti $M = 18 \text{ kNm}$ ja leikkausvoima $H = 90 \text{ kN}$ ($= M / 0,2 \text{ m}$). Reunapalkin kestävyyttä ei normaalisti tarvitse tarkastella H2 luokan kaiteella.

- kaiteen törmäyskestävyysluokka H4b: momentti $M = 90 \text{ kNm}$ ja leikkausvoima $H = 450 \text{ kN}$ ($= M / 0,2 \text{ m}$).

Mikäli käytetään edellä esitetyistä poikkeavaa törmäyskestävyysluokkaa tai halutaan määrittää reunapalkille tulevat voimat tarkemmin, saadaan kaiteen törmäyskuormaa vastaavat voimasuureet kertomalla kaiteen plastinen taivutuskapasiteetti ja sitä vastaava leikkausvoima varmuusluvulla 1,5.

Sillan rakenteen mitoituksessa voidaan olettaa, että yhdeltä kaidepylväältä siirtyy rakenteeseen täysi törmäyskuorma ja samanaikaisesti sen viereisiltä pylväiltä 50 % törmäyskuormasta, kun pylväsväli on 2 m tai enemmän. Mikäli pylväsväli on 1 m, oletetaan vierekkäisiltä kaidepylväiltä siirtyvän rakenteeseen täysi törmäyskuorma. Väliarvot voidaan interpoloida lineaarisesti. Samaan aikaan vaikuttava pystykuorma si-
joitetaan määräävään kohtaan.

F.4.3.1 Törmäys tukena toimiviin alusrakenteisiin

Törmäyskuormat alusrakenteisiin saadaan taulukosta *F.4*, ellei asianomainen viranomainen hankekohtaisesti toisin määrää. (sama taulukko on standardin SFS-EN 1991-1-7 siltöja koskevassa kansallisessa liitteessä, 4.1(FI)).

Taulukko F.4 Alittavan tieliikenteen törmäyskuormat siltöjen alusrakenteisiin

Liikenteen luokka	Kuorma F_{dx}^a [kN]	Kuorma F_{dy}^a [kN]
Moottoritiet sekä muut ajoneuvoille tarkoitetut tiet ja kadut, joilla suurin sallittu ajonopeus on $v \geq 80 \text{ km/h}$	1100	550
Ajoneuvoille tarkoitetut tiet ja kadut, joilla suurin sallittu ajonopeus on $50 \text{ km/h} \leq v < 80 \text{ km/h}$	825	410
Ajoneuvoille tarkoitetut tiet ja kadut, joilla suurin sallittu ajonopeus on $v < 50 \text{ km/h}$	550	275
Kevyen liikenteen tiet, pihat ja autotallit, joiden kunnossapito hoidetaan koneellisesti tai joissa kuorma-autojen ^b kulku ei ole rakentein estetty	150	75
Kevyen liikenteen tiet, pihat ja autotallit, joiden kunnossapito hoidetaan manuaalisesti tai enintään 3,5 tonnin kalustola ja joissa kuorma-autojen ^b kulku on rakentein estetty ^c	50	75

^a x = normaali liikenteen suunta, y = normaalin liikenteen suuntaa vastaan kohtisuoraan

^b Termi "kuorma-auto" tarkoittaa ajoneuvoja, joiden suurin bruttopaino on yli 3,5 tonnisa

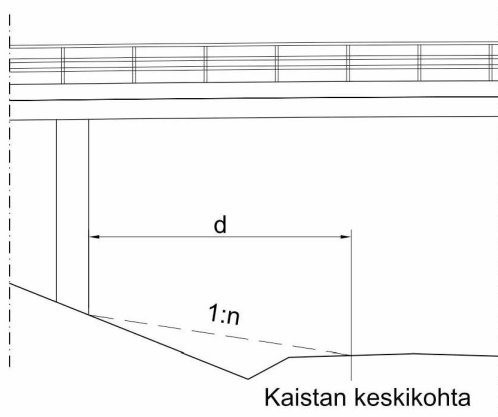
^c Rakenne-esteellä tarkoitetaan sitä, että kulkuväylä on kaiteilla tai sitä järeämmillä rakenteilla rajattu siten, että leveys on $\leq 2,4 \text{ m}$ tai kulkuväylän korkeus yläpuolisilla kantavilla rakenteilla rajattu siten, että korkeus on $\leq 2,2 \text{ m}$

Taulukossa *F.4* esitetyt kuormat F_{dx} ja F_{dy} eivät vaikuta törmäystilanteessa samanaikaisesti.

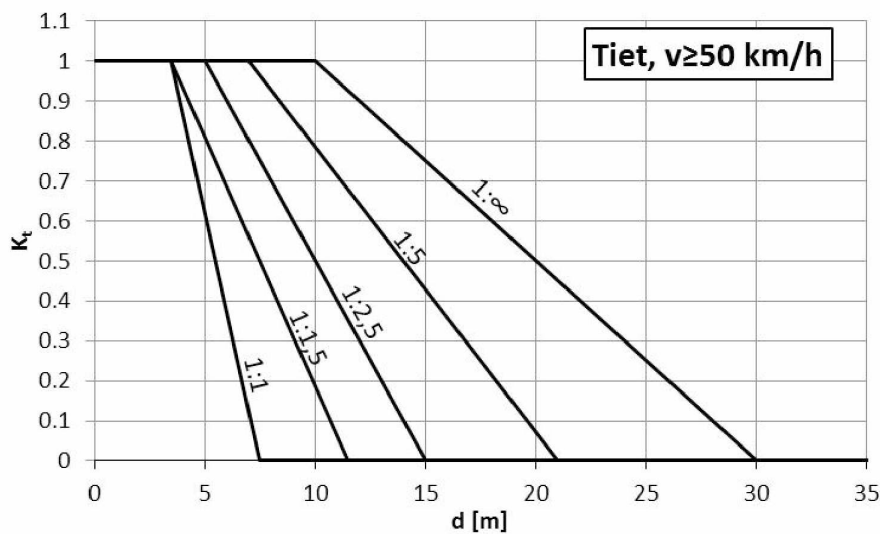
Törmäyskuorma jaetaan korkeussuunnassa alueelle 0,5-1,0 m ajoradan/luiskan pinnasta mitattuna ja leveydelle 1,50 m tai rakenneosan leveydelle sen mukaan, kumpi on pienempi.

Kun sillan alittavan väylän kaarevuussäde $R \leq 1000 \text{ m}$, tulee alusrakenteisiin kohdistuvia törmäyskuormia kasvattaa tilaajan hankekohtaisesti määrittämällä tavalla tai törmäykselle altis rakenne suojata kaiteella.

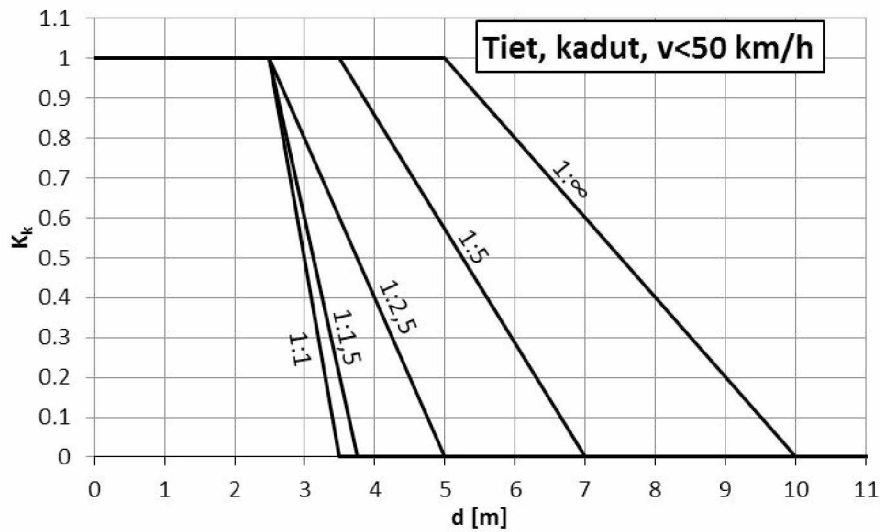
Sillan alusrakenteen etäisyys ajoradan reunasta ja pilarin juuren sijoittuminen ajorataa ylempänä otetaan huomioon pienentämällä taulukon F.4 törmäyskuormat kertoimilla K_t tai K_k . Kerrointa K_t käytetään teillä ja kaduilla kun ajonopeus on $v \geq 50$ km/h ja kerrointa K_k teillä ja kaduilla, kun ajonopeus on $v < 50$ km/h. Kertoimien arvot saadaan kuvista F.2 ja F.3. Kevyen liikenteen teillä, kaduilla ja pihoiilla pienennyskertoimia ei käytetä, ellei hankekohtaisesti niin sallita. Kuvissa käytettävä kaltevuus määritetään kuvan F.1 mukaisesti.



Kuva F.1 Alusrakenteen etäisyys reunimmaisen kaistan keskiviivasta.



Kuva F.2 Pienennyskerroin moottoriteillä ja muilla teillä kun ajonopeus on yli 50 km/h.



Kuva F.3 Pienennyskerroin teillä ja kaduilla kun ajonopeus on alle 50 km/h.

Teillä, missä ajonopeus on ≥ 50 km/h ja pilarin juuri on kaltevuudella 1:5 alempana kuin ajoradan pinta, törmäyskuorma on pienentämätön etäisyydelle 20 m saakka ja yhtä kuin nolla etäisyydellä 50 m. Teillä ja kaduilla, missä ajonopeus on alle 50 km/h ja pilarin juuri on kaltevuudella 1:5 alempana kuin ajoradan pinta, törmäyskuorma on pienentämätön etäisyydelle 10 m saakka ja yhtä kuin nolla etäisyydellä 20 m. Väliarvot voidaan laskea interpoloimalla. Kaltevuuden ollessa suurempi kuin 1:5 pienennyskerroin ei käytetä.

Mikäli luiskan ja päällysrakenteen alapinnan välinen tila törmäyskohdassa on $< 1,2$ m, törmäyskuormaa ko. alusrakenteeseen ei tarvitse ottaa huomioon.

Taulukosta F.4 saatua törmäyskuormaa, jota on pienennetty kuvien F.2 ja F.3 mukaisesti, voidaan edelleen kertoa kertoimella 0,65, kun rakennetta suojaa >1000 mm korkea asianomaisen viranomaisen hyväksymä H2 luokan (tai korkeamman luokan) kaide ja rakenteen ja kaiteen välissä on vähintään 1,3 m vapaa tila. Mikäli rakenne sijaitsee alaspäin viettävässä luiskassa, tulee vapaan tilan leveys kertoa kahdella.

Törmäyskuormaa ei tarvitse ottaa lainkaan huomioon, mikäli rakenteen ja kaiteen välissä on vähintään 5 m leveä vapaa tila.

Väliarvot voidaan interpoloida yllä esitettyistä arvoista. Kun käytetään tiekaidetta (korkeus 650...1000 mm) rakennetta suojaamassa, voidaan käyttää edellä mainittua vähennyskerrointa 0,65, mutta yllä mainitut suojaetäisyydet on kerrottava kahdella. H2-kaiteen pituuden tulee olla vähintään 35m + suojattavan alueen pituus (30 m ennen siltää liikenteen tulosuuntaan ja 5m jättösuuntaan).

F.4.3.2 Päällysrakenteisiin kohdistuva törmäys

Törmäyskuormat päällysrakenteisiin saadaan taulukosta F.5, ellei asianomainen viranomainen hankekohtaisesti toisin määrää. (sama taulukko on standardin SFS-EN 1991-1-7 siltöjä koskevassa kansallisessa liitteessä, 4.2(FI)).

Taulukko F.5 Alittavan tieliikenteen törmäyskuorma siltöjen päällysrakenteisiin

Liikenteen luokka	Ekvivalentti staattinen mitoitus kuorma F_{dx}^a [kN]	Törmäyksen kohteena olevan rakenteen alarajakorkeus h_0 [m]
Moottoritiet sekä muut ajoneuvoille tarkoitettut tiet ja kadut, joilla suurin sallittu ajonopeus on $v \geq 80 \text{ km/h}$	500	5,4
Ajoneuvoille tarkoitettut tiet ja kadut, joilla suurin sallittu ajonopeus on $50 \text{ km/h} \leq v < 80 \text{ km/h}$	375	5,4
Ajoneuvoille tarkoitettut tiet ja kadut, joilla suurin sallittu ajonopeus on $v < 50 \text{ km/h}$	250	5,4
Kevyen liikenteen tiet, pihat ja autotallit, joiden kunnossapito hoidetaan koneellisesti tai joissa kuorma-autojen ^b kulku ei ole rakentein estetty	75	4,8
Kevyen liikenteen tiet, pihat ja autotallit, joiden kunnossapito hoidetaan manuaalisesti tai enintään 3,5 tonnin kalustolla ja joissa kuorma-autojen ^b kulku on rakentein estetty ^c	25	3,5

^a x = normaali liikenteen suunta^b Termi "kuorma-auto" tarkoittaa ajoneuvoja, joiden suurin bruttopaino on yli 3,5 tonnissa^c Rakente-esteellä tarkoitetaan sitä, että kulkuväylä on kaiteilla tai sitä järeämillä rakenteilla rajattu siten, että leveys on $\leq 2,4 \text{ m}$ tai kulkuväylän korkeus yläpuolisilla kantavilla rakenteilla rajattu siten, että korkeus on $\leq 2,2 \text{ m}$

Taulukossa F.5 päällysrakenteeseen kohdistuvan törmäyskuorman suuruus on täysimääräinen kun törmäyskohteena olevan rakenteen korkeus tien pinnasta on yhtä suuri tai pienempi kuin taulukossa F.5 annettu alarajakorkeus h_0 . Törmäyskuormaa ei tarvitse ottaa huomioon kun korkeus ylittää alarajakorkeuden $h_1 = h_0 + 1 \text{ m}$. Väliarvot voidaan interpoloida.

Tarvittaessa otetaan huomioon myös liikenteen suuntaa vastaan kohtisuora kuorma F_{dy} (taulukon F.5 arvot voidaan puolittaa). Kuormat F_{dx} ja F_{dy} eivät vaikuta törmäys-tilanteessa samanaikaisesti.

Sillan päällysrakenteen alapintaan kohdistuvissa törmäyksissä tulee ottaa huomioon myös taulukon F.5 mitoituskuorma F_{dx} käännettynä 10° ylöspäin (ks. SFS-EN 1991-1-7 4.3.2 (1) huom. 4).

Törmäyskuorman vaikutusalue on $0,25 \text{ m}^2$ neliö.

Betonisilloissa on käytettävä kolhaisusuoja tieliikenteen ajoradan kohdalla kun alikulkukorkeus on $< 5,0 \text{ m}$. Kevytrakenteisen sillan kantavien rakenteiden (esim. ristiko- tai liittopalkkisilta) jossa ei ole varauduttu mahdolliseen törmäykseen erityistöimenpitein) kohdalla alikulkukorkeuden tulee olla $\geq 5,6 \text{ m}$.

F.4.5 Suistuneen junan aiheuttamat onnettomuuskuormat

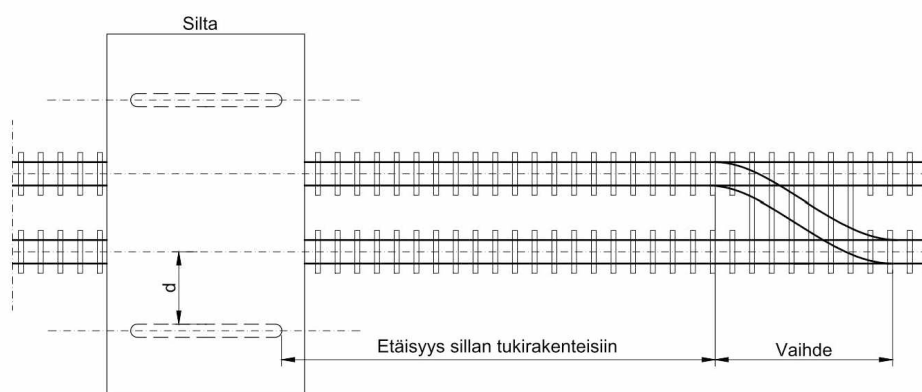
Sillat kuuluvat yleensä standardin SFS-EN 1991-1-7 luokkaan B: Massiivinen rakenne, joka ylittää käytössä olevan rautatien ja jossa ei oleskella pysyvästi.

Junien törmäyskuormat alusrakenteisiin saadaan taulukosta F.6, ellei hankekohtaisesti tosin määrätä.

Taulukko F.6 Alittavan rataliikenteen törmäyskuorma siltöjen alusrakenteisiin

Vaakasuoja etäisyys rakenteen pinnasta lähim- män raiteen keskiliinjan [m]		Raiteen suuntainen voima [kN]		Raidetta vastaan koh- tisuora voima [kN]	
vaihteeton alue	vaihdealue	≤ 120 km/h	≥ 200 km/h	≤ 120 km/h	≥ 200 km/h
d < 3,1 m	d < 5 m	8000	10000	3000	3750
d = 3,1 - 5 m	d = 5 - 7 m	4000	6000	1500	2250
d = 5 - 7 m	d = 7 - 10 m	2000	4000	750	1500
d = 7-10 m		0	1000	0	375

- Kuormat voidaan interpoloida lineaarisesti nopeuden suhteen, kun $120 < V < 200$ [km/h].
- Kuormia voidaan vähentää 50 %, jos kaluston nopeus on alle 50 km/h.
- Kuormia voidaan vähentää 50 %, jos tukirakenteet on suojattu vähintään 0,55 m korkeilla massiivisilla laiturirakenteilla, tai jos yksittäiset tukirakenteet on yhdistetty vastaavan korkuisilla massiivisilla jalustoilla.
- Yksittäiseen rakenneosaan kohdistuvia kuormia voidaan vähentää 50 %, jos rakenneosa ei sijaitse rakenneosarivin ulommaisena rakenneosana.
- Kuormia voidaan vähentää 25 %, jos radalla on käytetty suojakiskoja. Suojakiskojen pituuden tulee olla $\geq V^2/80$ [m], mutta vähintään 30 m. (V = junan nopeus [km/h].) Suojakiskojen käytölle tulee olla Liikenneviraston lupa ja niiden tarve esitetään hankekohtaisissa suunnitteluperusteissa.
- Silta on vaihdealueella, kun vaihteen etäisyys sillan tukirakenteen reunasta on pienempi kuin $V^2/80$ [m], ks. kuva F.4 (V = junan nopeus [km/h]).



Kuva F.4 Vaihteen etäisyys sillan tukirakenteista

Edellä mainittuja vähennyksiä voidaan yhdistellä kertomalla keskenään.

Onnettomuuskuormat vaikuttavat 1,8 m:n korkeudella raiteen korkeusviivan tasosta. Törmäyspinnan leveydeksi voidaan otaksua enintään 2 m ja korkeudeksi enintään 1 m.

F.4.8 Laivaliikenteen aiheuttamat onnettomuuskuormat

Standardin SFS-EN 1991-1-7 opastavassa liitteessä C esitettyjä alustyyppöjä ei voi sellaisenaan käyttää suunnittelussa, vaan paikalliset olosuhteet on otettava huomioon. Muut standardissa SFS-EN 1991-1-7 esitetyt laivan törmäyksiä koskevat vaatimukset ovat voimassa, elleivät paikalliset olosuhteet eroa merkittävästi standardin oletuksista.

Käytettävät törmäyskuormat määritellään hankekohtaisesti asianomaisen viranomaisen toimesta perustuen väyläkohtaisiin tietoihin. Mahdollinen riskianalyysi ja siihen liittyvä laivojen törmäysten tilastollinen mallintaminen tehdään tarvittaessa yleisesti tunnustettuja menetelmiä käyttäen.

Erityistä huomiota on kiinnitettävä laivaväylän viereisten tukien suunnitteluun riittävän vaurionsietokyvyn (robustness) varmistamiseksi.

G Kuormien yhdistely (SFS-EN 1990/A1 Liite A2)

Kaikki standardin SFS-EN 1990 muutoksen A1 (SFS-EN 1990:2002/A1 – liite A2) sekä sen kansallisessa liitteessä esitetyt vaatimukset ovat voimassa ja niitä on noudatettava, vaikka tässä soveltamisohjeessa kaikkiin standardissa esitettyihin asioihin ei otetaakaan kantaa.

G.1 Käyttötarkoitus

Standardin SFS-EN 1990 liitteessä A2 esitetään tiesiltöjen, kevyen liikenteen siltöjen ja rautatiesiltöjen suunnitteluun käytettäviä, kuormien yhdistelyä koskevia sääntöjä ja menetelmiä käyttörajatila- ja murtorajatilatarkasteluihin (lukuun ottamatta varmuuden osoittamista väsymisen suhteen) sekä eri kuormien osavarmuuslukujen γ ja yhdistelykertoimien Y_i suositeltavia mitoitusarvoja.

Tässä soveltamisohjeessa esitetään tärkeimmät standardin vaatimukset sekä standardin antamat kuormien yhdistelykertoimet ja -kaavat. Lisäksi tämän soveltamisohjeen liitteessä 1 esitetään kaikki mahdolliset kuormitusyhdistelyt siten, että kaikki standardin vaatimukset tulevat otetuiksi huomioon.

Eri materiaaleista valmistettujen rakenneseien viitteellinen käyttöikä on esitetty materiaalistandardeja koskevissa soveltamisohjeissa.

G.2 Kuormien yhdistely

G.2.1 Yleistä

Kuormia, jotka eivät fyysikaalisista tai toiminnallisista syistä voi esiintyä samanaikaisesti, ei tarvitse ottaa huomioon samanaikaisesti kuormien yhdistelmissä, joista voimasuureet lasketaan.

Murtoraja- ja käyttörajatilan kuormitusyhdistelyt muodostetaan taulukoiden G4-G8 avulla (vastaavat taulukot standardissa ovat A2.4...A2.6). Yhdistelyssä käytettävät yhdistelykertoimet (Y_i) on esitetty taulukoissa G1-G3 (vastaavat taulukot standardissa ovat A2.1...A2.3). Kuormitusyhdistelmiä tehtäessä on otettava huomioon kaikki standardissa esitetyt erityisehdot (näitä erityisehtoja on mm. kappaleissa A2.2.2...A2.2.4)

Liitteessä 1 on esitetty kaikki mahdolliset kuormitusyhdistelmät murto- ja käyttörajatiloissa kun otetaan huomioon edellä esitetyt standardin vaatimukset ja erityisehdot. Liitteen 1 käyttö on suositeltavaa kuormitusyhdistelmiä muodostettaessa.

G.2.2 Yhdistelykertoimien Y arvot

Tässä kappaleessa esitetyt taulukot G1...G3 sisältävät yhdistelykertoimet tieliikenteen silloille (G1), kevyen liikenteen silloille (G2) sekä rautatiesilloille (G3). Kyseiset

taulukot vastaavat liitteen A2:n taulukoita A2.1...A2.3 ja niihin on kirjoitettu sisään Suomen kansalliset valinnat sekä kansalliset lisäykset.

Taulukko G.1 Tiesiltöjen yhdistelykertoimet

Kuorma			Ψ_0 Yhdistelyarvo (combination)	Ψ_1 Tavallinen arvo (frequent)	Ψ_2 Pitkäaikaisarvo (quasi-permanent)
gr1a	LIIKENNEKUORMAT	Teli (LM1)	0.75	0.75	-
		UDL (LM1)	0.4	0.4	- 0.3
		Kevyen liikenteenkuorma (3kN/m ²)	0.4	0.4	-
		gr1b Akselikuorma (LM2)	-	0.75	-
		gr2 LM1 +Vaakakuormat	-	-	-
		gr3 Kevyen liikenteen väylän kuorma	-	-	-
gr1b					
gr2					
gr3					
gr4					
gr5					
F _{wk}	TUULIKUORMAT	-F _{wk} , Normaalisti vallitsevat mitoitusilanteet	0.6	0.2	-
T _k	LÄMPÖTILAKUORMAT	T _k (ks. kappale D)	- 0.6	0.6	0.5
BF	LAAKERIKITKA	BF (ks. kappale H.3)	0.6	0.5	0.4
IL	JÄÄKUORMAT	IL (ks. kappale H.1)	0.7	0.5	0.2
S	TUKIPAINUMAT/-SIIRTUMÄT	S (ks. kappale H.2)	pysyvä kuorma		
TLEP	LIIKENNEKUORMAN MAANPAINA ⁽¹⁾	(ks. EN 1991-2 NA 4.9.1 (1))	0.75	0.75	0.3

1) Liikennekuorman maanpaine:

-Kun siltäkannella ei ole telikuormaa, käytetään gr1a:n telikuorman psi-arvoa (0,75/0,75/0)

-Kun siltäkannella on telikuormaa, käytetään gr1a:n tasaisen kuorman psi-arvoa (0,4/0,4/0,3)

Taulukko G.2 Kevyen liikenteen siltöjen yhdistelykertoimet

Kuorma			Ψ_0 Yhdistelyarvo (combination)	Ψ_1 Tavallinen arvo (frequent)	Ψ_2 Pitkäaikaisarvo (quasi-permanent)
gr1	LIIKENNEKUORMAT	Tasainen kuorma	0.4	0.4	-
		- Pistekuorma	-	-	-
		gr2 Huoltoajoneuvo	-	-	-
F _{wk}	TUULIKUORMAT	-F _{wk} , Normaalisti vallitsevat mitoitusilanteet	0.3	0.2	-
T _k	LÄMPÖTILAKUORMAT ⁽¹⁾	T _k (ks. kappale D)	- 0.6	0.6	0.5
BF	LAAKERIKITKA	BF (ks. kappale H.3)	0.6	0.5	0.4
IL	JÄÄKUORMAT	IL (ks. kappale H.1)	0.7	0.5	0.2
S	TUKIPAINUMAT/-SIIRTUMÄT	S (ks. kappale H.2)	pysyvä kuorma		
TLEP	LIIKENNEKUORMAN MAANPAINA	(ks. EN 1991-2 NA 4.9.1 (1))	0.4	0.4	-

Taulukko G.3 Rautatiesiltöjen yhdistelykertoimet

Kuorma			Ψ_0 Yhdistelyarvo (combination)	Ψ_1 Tavallinen arvo (frequent)	Ψ_2 Pitkäaikaisarvo (quasi-permanent)
Liikennekuormien yksittäiset komponentit ⁽²⁾	LM/1		0.8	⁽¹⁾	0.2
	SW/0		0.8	⁽¹⁾	0.2
	SW/2		0	1,0	-
	ULT Kuormittamaton juna		1,0	-	-
	HSLM		1,0	1,0	0
	T&B Veto- ja jarrukuormat	Liikennekuorman yksittäisille komponenteille käytetään mitoitusilanteissa, joissa liikennekuormia pidetään yksittäisenä (usean komponentin sisältävänä) määräävänä kuormana eikä kuormaryhminä, samoja yhdistelykertoimen ψ arvoja kuin asianomaisille pystykuormille			
	CF Keskipakokuormat				
	Pystysuuntaisten liikennekuormien aiheuttamien muodonmuutosten synnyttämät kuormat				
	NF Sivusysäyskuormat				
	ML Yleiseltä käytöltä suljettujen kulkukäytävien kuormat		0.8	0.5	0
	Todelliset junat		1,0	1,0	0
	TLEP Liikennekuormasta johtuva vaakasuuntaisen maanpaineen lisäys		0.8	⁽¹⁾	0.2
	AE Aerodynaamiset vaikutukset		0.8	0.5	0
	TUULIKUORMAT	-F _{wk} , Normaalisti vallitsevat mitoitusilanteet	0.75	0.5	0
	LÄMPÖTILAKUORMAT ⁽²⁾	T _k (ks. kappale D)	0.6	0.6	0.5
	LAAKERIKITKA	BF (ks. kappale H.3)	0.6	0.5	0.4
	JÄÄKUORMAT	IL (ks. kappale H.1)	0.7	0.5	0.2
	TUKIPAINUMAT/-SIIRTUMÄT	S (ks. kappale H.2)	pysyvä kuorma		

1) Kerroin riippuu kuormitettujen raiteiden määrästä i seuraavasti: 0,8 kun i=1, 0,7 kun i=2 ja 0,6 kun i≥3

2) Pienin samanaikaisesti raide liikennekuormien yksittäisten komponenttien (esim. keski-, veto- tai jarrukuormakomponenttien) kanssa esiintyvä edullinen pystykuorma on 0,5 LM/1

G.3 Murtorajatila

G.3.1 Normaalisti vallitsevat mitoitustilanteet

Normaalisti vallitsevissa mitoitustilanteissa murtorajatilan kuormien mitoitussarvot saadaan tässä kappaleessa esitetyistä taulukoista G4...G6. Kyseiset taulukot vastaavat liitteen A2:n taulukoita A2.4(A)...A2.4(C) ja niihin on kirjoitettu sisään Suomen kansalliset valinnat sekä kansalliset lisäykset.

Siltojen staattinen tasapaino tarkastetaan taulukon G4 avulla (standardin taulukko A2.4(A) – Set A – EQU).

Rakenneosien kestävyys tarkastetaan taulukon G5 avulla (standardin taulukko A2.4(B) – Set B – STR/GEO). Myös anturoiden ja paalujen suunnittelu tehdään taulukon G5 avulla (menettelytapa 2 standardin kohdan A2.3.1 (5) mukaan, ks. siltojen geotekniikkaa käsittelevä soveltamisohje NCCI7).

Taulukkoa G6 ei käytetä siltojen suunnittelussa luiskien vakavuustarkasteluja lukuun ottamatta.

Taulukko G.4 SET A – EQU staattinen tasapaino

	Pysyvät kuormat	kuor-	Esijännitys		Määräävä muuttuva kuorma	Muut samanaikaiset muuttuvat kuormat
Yhtä-lö 6.10	1,15 / 0,9	G	1,1 / 0,9	P	1,35 · (tieliikennekuorma) 1,35 · (kevyen liikenteen kuorma) 1,35 · (raideliikennekuorma)	1,50 · $\psi_{o,i}$ · (muut muuttuvat kuormat)
	tai					
	1,15 / 0,9	G	1,1 / 0,9	P	1,50 · (muu määräävä muuttuva kuorma)	1,35 · $\psi_{o,i}$ · (tieliikennekuorma) 1,35 · $\psi_{o,i}$ · (kevyen liikenteen kuorma) 1,35 · $\psi_{o,i}$ · (raideliikennekuorma) + 1,50 · $\psi_{o,i}$ · (muut muuttuvat kuormat)

- Taulukossa käytetään standardin suositusarvoja pysyvän kuorman osavarmuuslukuja lukuun ottamatta
- Tukipainuma ja vedenpinnan asema käsitellään pysyvänä kuormana, ks. kpl H.5
- Esijännityksen osavarmuusluku on 1,30, kun tarkistetaan ulkoisen jännevoiman yhteydessä esiintyvää stabiilisusrajaa ja jännevoiman arvon kasvu voi olla epäedullinen (ks. SFS-EN 1992-1-1 kohta 2.4.2.2 (2))
- Erikoistapaukset (vastapainon käyttö, laakereiden nousu tms.), ks. standardin suositukset
- Siirtymillä aikaansaadun esijännityksen (tukien nosto/lasku) osavarmuusluku on 1,0 mikäli mitataan siirtymät ja tukireaktiot ja 1,1/0,9 mikäli mitataan vain siirtymät.
- Yhdistelykertoimet (γ_i) ks. taulukot G1...G3.

- Mitoituskaava:

$$E_d = K_{FI} \cdot 1,15 \cdot G_{kj, \sup} + 0,9 \cdot G_{kj, \inf} + K_{FI} \cdot \gamma_P \cdot P + K_{FI} \cdot \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum (K_{FI} \cdot \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i})$$

Taulukko G.5 SET B – STR/GEO rakenneosien kestävyys ja geotekninen kantavuus

	Pysyvät kuormat	kuor-	Esijännitys	Määräävä muuttuva kuorma	Muut samanaikaiset muuttuvat kuormat
6.10a	1,35 / 0,9	G	1,1 / 0,9	P	-
tai					
6.10b	1,25 / 0,9	G	1,1 / 0,9	P	1,35 · (tieliikennekuorma) 1,35 · (kevyen liikenteen kuorma) 1,45/1,20 · (raideliikennekuorma)
	1,25 / 0,9	G	1,1 / 0,9	P	1,50 · (muu määräävä muuttuva kuorma)
tai					
	1,25 / 0,9	G	1,1 / 0,9	P	1,35 · $\psi_{0,i}$ · (tieliikennekuorma) 1,35 · $\psi_{0,i}$ · (kevyen liikenteen kuorma) 1,45/1,20 · $\psi_{0,i}$ · (raideliikennekuorma) + 1,50 · $\psi_{0,i}$ · (muut muuttuvat kuormat)

- Suomessa käytetään lausekkeitä 6.10a ja 6.10b
- Käytettävä kertoimen ξ arvo on 0,925, jolloin $\gamma_{G, \sup} = 1,35 \cdot \xi \approx 1,25$
- Lauseke 6.10a sisältää vain pysyvät kuormat
- Tukipainuma ja vedenpinnan asema käsitellään pysyvänä kuormana, ks. kpl H.5
- Liikennekuorman maanpaineen osavarmuusluku on 1,50 / 0
- Tukipainuman osavarmuusluku lineaarisessa analyysissä 1,20 / 0 ja epälineaarisessa analyysissä 1,35 / 0
- Esijännityksen osavarmuusluku on 1,20 kun tarkistetaan jännitysvoiman paikallisia vaikutuksia (esim. ankkurointialue), ks. SFS-EN 1992-1-1 kohta 2.4.2.2(3).
- Yhdistelykertoimet (γ_i) ks. taulukot G1...G3.
- Mitoituskaava a: $E_d = K_{FI} \cdot 1,35 \cdot G_{kj, \sup} + 0,90 \cdot G_{kj, \inf} + K_{FI} \cdot \gamma_P \cdot P$
- Mitoituskaava b:

$$E_d = K_{FI} \cdot 1,25 \cdot G_{kj, \sup} + 0,90 \cdot G_{kj, \inf} + K_{FI} \cdot \gamma_P \cdot P + K_{FI} \cdot \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum (K_{FI} \cdot \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i})$$

Taulukko G.6 SET C – STR/GEO

	Pysyvät kuormat	kuor-	Esijännitys		Määäävää muuttuva kuorma	Muut samanaikaiset muuttuvat kuormat
6.10	1,00	G	1,00	P	1,15 · (tieliikennekuorma) 1,15 · (kevyen liikenteen kuorma) 1,25 · (raideliikennekuorma)	1,30 · $\psi_{0,i}$ · (muut muuttuvat kuormat)
	tai					
	1,00	G	1,00	P	1,30 · (muu määäävää muuttuva kuorma)	1,15 · $\psi_{0,i}$ · (tieliikennekuorma) 1,15 · $\psi_{0,i}$ · (kevyen liikenteen kuorma) 1,25 · $\psi_{0,i}$ · (raideliikennekuorma) + 1,30 · $\psi_{0,i}$ · (muut muuttuvat kuormat)

- Taulukossa käytetään standardin suositusarvoja
- Tukipainuma ja vedenpinnan asema käsitellään pysyvänä kuormana, ks. kpl H.5
- Liikennekuorman osavarmuusluku on 1,30 / 0
- Yhdistelykertoimet (γ_i) ks. taulukot G1...G3.
- Mitoituskaava:

$$E_d = K_{FI} \cdot 1,0 \cdot G_{kj, \text{sup}} + 1,0 \cdot G_{kj, \text{inf}} + \gamma_P \cdot P + K_{FI} \cdot \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum (K_{FI} \cdot \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i})$$

G.3.2 Onnettomuus- ja maanjäristysmitoitustilanteet

Onnettomuus- ja maanjäristysmitoitustilanteissa murtorajatilan kuormien mitoitussarvot saadaan tässä kappaleessa esitetystä taulukosta G7. Kyseinen taulukko vastaa liitteen A2:n taulukkoa A2.5 ja siihen on kirjoitettu sisään Suomen kansalliset vailinnat.

Taulukko G.7 Onnettomuusmitoitussyhdistely

Mitoitustilanne		Pysyvät kuormat		Esijännitys		Onnettomuus- tai maanjäristyskuorma	Muut samanaikaiset muuttuvat kuormat
Onnettomuuskuorma	6.11 a/b	1,00	G	1,00	P	A_d (onnettomuuskuorma)	$\psi_{3,i}$ · (liikennekuorma) $\psi_{2,i}$ · (muut muuttuvat kuormat)
Maanjäristyskuorma	6.11 a/b	1,00	G	1,00	P	A_{Ed} (maanjäristyskuorma)	$\psi_{2,i}$ · (muut muuttuvat kuormat)

- Taulukossa käytetään standardin suositusarvoja
- Onnettomuusmitoitussyhdistelmissä määäävälle muuttuvalle kuormalle annetaan sen tavallinen arvo (γ_1) mikäli kyseessä on liikennekuorma, muuten pitkäaikaisarvo (γ_2). Muille muuttuville kuormille annetaan pitkäaikaisarvo (γ_2).
- Tiesilloilla liikennekuorma sijaitsee vain yhdellä kaistalla.
- Mikäli hankekohtaisesti ei muuta päätetä (esim. ratapihalla), voi onnettomuusyhdistelmissä rautatiesillä olevan liikennekuorman puolittaa
- Kansallinen viranomais voi määrätä erikseen mahdolliset maanjäristystilanteet.

- Onnettomuuskuorman mitoituskääva:

$$E_d = 1,0 \cdot G_{kj, \text{sup}} + 1,0 \cdot G_{kj, \text{inf}} + P + A + (\psi_{1,1} \vee \psi_{2,1}) \cdot Q_{k,1} + \sum (\psi_{2,i} \cdot Q_{k,i})$$

G.4 Käyttörajatila

Käyttörajatiiloissa kuormien mitoitussarvoina käytetään taulukon G8 arvoja. Kyseinen taulukko vastaa liitteen A2:n taulukkoa A2.6 ja siihen on kirjoitettu sisään Suomen kansalliset valinnat.

Taulukko G.8 Käyttörajatilayhdistelyt

	Pysyvät kuormat		Esijännitys		Määäävää muuttuva kuorma	Muut samanaikaiset muuttuvat kuormat
Ominaisyhdistelmä 6.14	1,00	G	1,00	P	(määäävää muuttuva kuorma)	$\psi_{0,i} \cdot$ (muut muuttuvat kuormat)
Tavallinen yhdistelmä 6.15	1,00	G	1,00	P	$\psi_{2,1} \cdot$ (määäävää muuttuva kuorma)	$\psi_{2,i} \cdot$ (muut muuttuvat kuormat)
Pitkäaikaishdistelmä 6.16	1,00	G	1,00	P	$\psi_{2,1} \cdot$ (määäävää muuttuva kuorma)	$\psi_{2,i} \cdot$ (muut muuttuvat kuormat)

- Taulukossa käytetään standardin suositussarvoja
- Eri käyttörajatiiloissa tehtävät tarkastelut on määääritetty materiaaliakohtaisissa soveltamisohjeissa
- Mitoituskääva 6.14: $E_d = 1,0 \cdot G_{kj, \text{sup}} + 1,0 \cdot G_{kj, \text{inf}} + P + Q_{k,1} + \sum (\psi_{0,i} \cdot Q_{k,i})$
- Mitoituskääva 6.15: $E_d = 1,0 \cdot G_{kj, \text{sup}} + 1,0 \cdot G_{kj, \text{inf}} + P + \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \sum (\psi_{2,i} \cdot Q_{k,i})$
- Mitoituskääva 6.16: $E_d = 1,0 \cdot G_{kj, \text{sup}} + 1,0 \cdot G_{kj, \text{inf}} + P + \sum (\psi_{2,i} \cdot Q_{k,i})$

Eurokoodeista on tulkittavissa seuraava perusperiaate eri käyttörajatiilojen käyttölle:

- Käyttörajatiilan ominaisyhdistelmällä tarkastetaan ”palautumattomia” muodonmuutoksia, mm.:
 - Betonirakenteen jännitysraajat (NCCI 2 kpl 7.2)
 - Teräsrakenteen jännitysraajat (NCCI 4 kpl 7.2.1.1)
 - Vaaröjen jännitysraja (NCCI 4 kpl 6.3.2)
 - Rautatieliikenteen siltöjen taipumarajat¹⁾ (NCCI 1 taulukko B.9)
 - Laakereiden ja liikuntasäumalaitteiden liikevarat (NCCI 1 kpl H.8)
 - Perustusten jännitettyjen ankkureiden käyttöehdot (NCCI 7 kpl 5.1.1.2, Sillan geotekninen suunnittelu kpl 4.3.3.6 ja kpl 4.3.5.1)
 - Jännittämättömien teräsankkureiden mitoitusehto (Siltöjen geotekninen suunnittelu 4.3.3.6)
 - Luiskien ja maavaraisten luiskien siirtymät (NCCI 7 5.5.2)

- Tukikohtaisen painumalaskennan tarpeellisuus (NCCI 7 kpl 5.1.2.4, Sillan geotekninen suunnittelu 4.3.2.4)
- Käyttörajan tavallisella yhdistelmällä tarkastetaan ”palautuvia” muodonmuutoksia, mm.:
 - Tieliikenteen siltöjen ja kevyen liikenteen siltöjen taipumarajatilat NCCI 2 kpl 7.2.2.1, NCCI 5 kpl 7.2, NCCI 4 kpl 7.2.2.1)
 - Lyhytaikaisen tilanteen halkeamarajatila (NCCI 2 kpl 7.3)
 - Teräsrakenteen uuman hengittäminen (NCCI 4 kpl 7.2.1.1)
- Pitkäaikaisella yhdistelmällä tarkastetaan mm.
 - Betonin jännitysraja $0,45 \cdot f_{ck}$ (NCCI 2 kpl 7.2)
 - Jännitetyn rakenteen pysyminen puristettuna (NCCI 2 kpl 7.3)
 - Pitkäaikaisen tilanteen halkeamarajatila (NCCI 2 kpl 7.3)
 - Jännittämättömien ankkureiden käyttöehdot (NCCI 7 5.1.1.2, Siltöjen geotekninen suunnittelu kpl 4.3.5.1 ja 4.3.3.6)
 - Paalun ankkurointitarve jännitetyillä ankkureilla (NCCI 7 kpl 5.2.2.2 kuva 5.1)

¹⁾ Rautatieliikenteen silloilla siirtymärajat käsitetään turvallisuuteen liittyviksi rajatiloiksi ja tarkastelu tehdään ominaisyhdistelmällä

Yllä olevasta listasta on jätetty pois eräät erikoistapaukset väsymiseen liittyen.

G.4.3.2 Kevyen liikenteen mukavuuskriteerit

Kevyen liikenteen siltöjen värähtelystä aiheutuu yleensä haittaa vain sillan käyttäjille koettuna epämiellyttävyytenä, eikä se vaurioita siltaa. Periaatteena on, että vähemmän liikennöidyillä silloilla voidaan sallia enemmän värähtelyä kuin vilkkaasti liikennöidyillä.

Siltöjen suunnittelussa tulisi aina harkita laskennassa käytetty heräte, laskentamenetelmä ja kiihtyvyyssrajat (mukavuustaso) tapauskohtaisesti. Tätä tarkoitusta varten on tehty siltöjen jako neljään luokkaan liikennemäärän suhteen. Tätä luokkajakoa on herätteiden valinnan suhteen suositeltavaa noudattaa.

Seuraavassa kappaleessa esitetty mitoitusmenetelmä on kuitenkin melko konservatiivinen varsinkin herätteiden huomioon ottamisen osalta (herätteen paikallaan pysyvyys). Jotta välttyttäisiin liialliselta ylimitoitukselta värähtelyn suhteen, voidaan laskentamallissa käyttää herätteiden osalta tarkempia menetelmiä perustuen liikkuvaan herätteeseen. Mahdolliset muutokset mitoituskriteereihin ja laskentamenetelmiin harkitaan hankekohtaisesti suunnittelijan ja tilaajan silta-asiantuntijan kesken.

Jos sillan mitoituskriteereitä selvästi helpotetaan, on suositeltavaa tehdä sen valmistuttua sille värähtelymittaus sekä mahdollisesti varautua jo suunnitteluvaiheessa mahdollisten värähtelyn vaimentimien asentamiseen.

Kevyen liikenteen silloilla värähtelystä aiheutuvat kiihtyvyydet on tarkistettava, kun sillan jokin ominaistaajuus on pystysuuntaiselle värähtelylle alle 5,0 Hz ja poikittaiselle värähtelylle sekä vääntövärähtelylle alle 2,5 Hz. Pystysuuntaisena herätteenä käytetään kävelyherätettä tarkasteltavan ominaistaajuuden ollessa alle 2,3 Hz ja muuten juoksuherätettä. Poikittaissuuntaisena herätteenä käytetään ainoastaan kävelyherätettä. Kiihtyvyys ei saa ylittää pystysuuntaisilla värähtelyillä arvoa 0,7 m/s² ja vaakasuuntaisilla värähtelyillä arvoa 0,2 m/s².

Kevyen liikenteen siltöjen värähtelytarkastelussa sillat jaetaan niiden sijainnin perusteella neljään eri siltaluokkaan. Käytettävä heräte valitaan siltaluokan perusteella. Siltaluokat on esitetty taulukossa G.9.

Taulukko G.9 Kevyen liikenteen siltöjen siltaluokat

Luokka	Kuvaus	Heräte
1	Erittäin vilkkaasti liikennöidyt kevyen liikenteen sillat. Esimerkiksi sillat urheilustadionien läheisyydessä.	Heräte määritellään hankekohtaisesti.
2	Vilkkaasti liikennöidyt kevyen liikenteen sillat. Esimerkiksi sillat kaupunkien keskustoissa.	Jalankulkijavirta $d = 0,5$ hlö/m ² tai kaksi juoksijaa.
3	Normaalisti liikennöidyt kevyen liikenteen sillat.	Neljä kävelijää tai yksi juoksija.
4	Vähäisesti liikennöidyt kevyen liikenteen sillat. Esimerkiksi sillat metsäpolkujen varrella.	Yksi kävelijä. Hankekohtaisesti tarkastelu voidaan jättää tekemättä.

Kävelijä- sekä juoksijaryhmillä käytettävän herätteen pystysuuntainen amplitudi F saadaan lausekkeesta

$$F = k \cdot \alpha \cdot \rho \quad (\text{G.1})$$

missä

k on määräkerroin, $k = n^{0,5}$ (jalankulkijat epätahdissa)

n on jalankulkijoiden määrä

α on kuormakerroin

P on yhden kävelijän paino (700 N)

Kuormakerroin lasketaan kaavalla G.2 kävelyherätteelle ja kaavalla G.3 juoksuherätteelle.

$$\alpha = 0,83 \cdot e^{-0,35f} \leq 0,45 \quad (\text{G.2})$$

$$\alpha = 5,25 \cdot e^{-0,45f} \leq 1,5 \quad (\text{G.3})$$

missä f on rakenteen ominaistaajuus. Vaakasuuntaisen herätteen amplitudi saadaan pystysuuntaisesta amplitudista kertomalla se kertoimella 0,125. Siltaluokassa 4 voi-

daan yksiaukkoisilla silloilla käyttää myös standardin SFS-EN 1995-2 liitteessä B esitettyä yksinkertaistettua menetelmää.

Jalankulkijavirrälle herätteenä käytetään koko kannen alalle tasaisesti jakautunutta kuormaa, jonka suunta valitaan niin, että sillä saadaan määräävä vaikutus tarkasteltavalla ominaismuodolla. Kuorman suunta voi vaihdella sillan eri osissa. Kuorman amplitudi jalankulkijavirrälle saadaan kaavasta

$$F = a \cdot P \cdot n' \cdot \psi \quad (\text{G.4})$$

missä

- a on herätteen suunnasta riippuva kerroin (pystysuuntaiselle 0,4 ja poikittaiselle 0,05)
P on yhden kävelijän paino (700 N)
n' on ekvivalentti jalankulkijoiden määrä
 ψ on taajuudesta riippuva kuormakerroin

Ekvivalentti jalankulkijoiden määrä saadaan kaavasta

$$n' = \frac{10,8 \sqrt{\xi \times n}}{A} \quad (\text{G.5})$$

missä

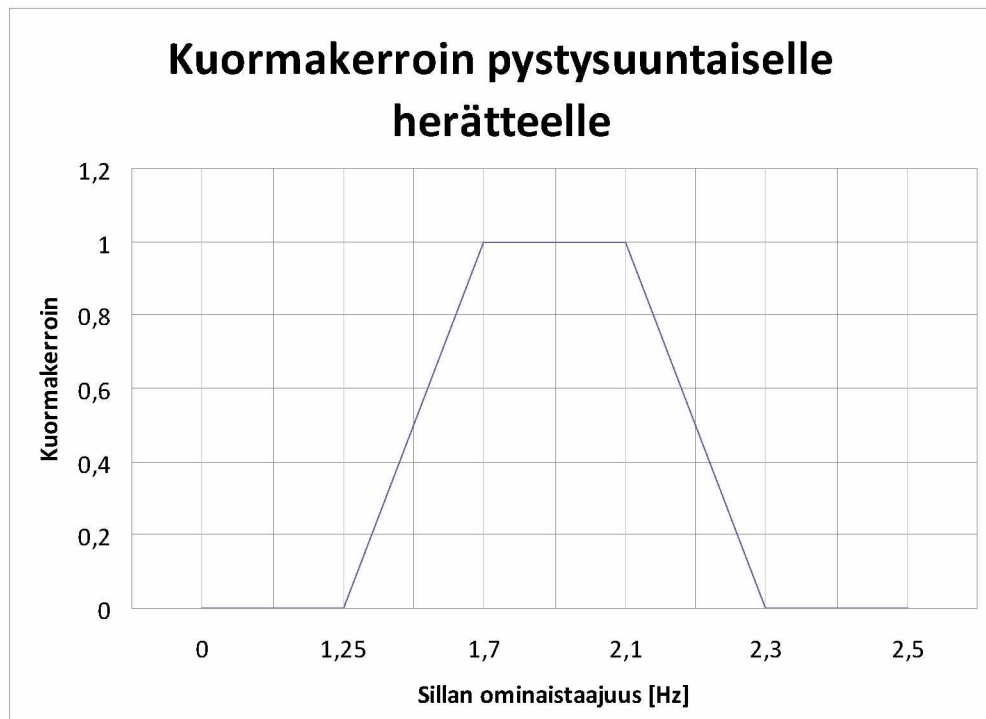
- ξ on sillan vaimennussuhde
n on jalankulkijoiden määrä sillalla ($n = d \times A$)
A on sillan kannen pinta-ala

Kuormakertoimen ψ arvo on esitetty alla olevissa kuvissa G.1 ja G.2.

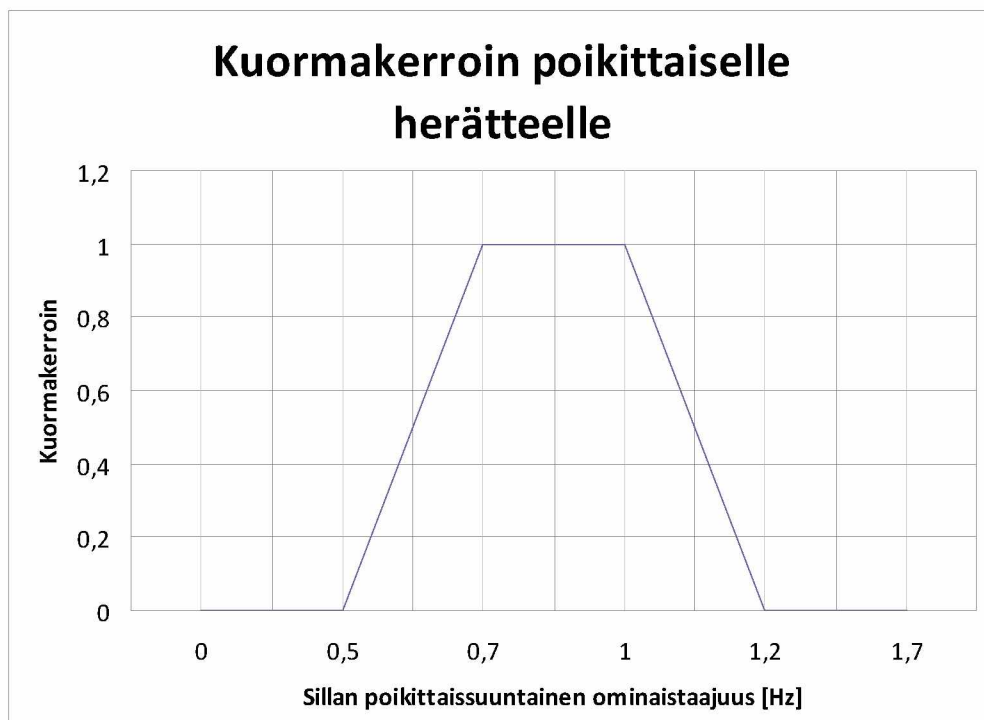
Jalankulkijaherätteen aiheuttamia värähtelyjä tarkasteltaessa käytettävät vaimennussuhteen arvot eri materiaaleille on esitetty taulukossa G.10.

Taulukko G.10: Vaimennussuhteet

Materiaali	Pienin ξ	Keskimääräinen ξ
Teräsbetoni	0,80%	1,30%
Jännitetty betoni	0,50%	1,00%
Liittorakenne	0,30%	0,60%
Teräs	0,20%	0,40%
Puu	1,00%	1,50%



Kuva G.1



Kuva G.2

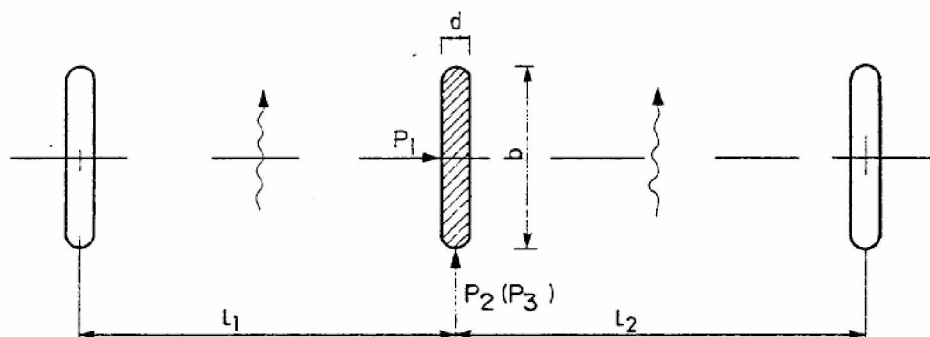
H Eurokoodin soveltamisalan ulkopuolelle jäävät kuormat ja muut lisäohjeet

H.1 Jääkuormat

Siltarakenne mitoitetaan jääkuormalle ottamalla huomioon paikalliset olosuhteet ja rakenteen muotoilu. Tavallisessa jokien jääolosuhteissa siltöjen jääkuormat voidaan määrittää seuraavassa esitetyllä tavalla. Näitä arvoja pienempiä arvoja voidaan käyttää helpoissa olosuhteissa, esim. jos siltapilarit ovat joka puolelta jääpeitteen ympäröimiä ja jää sulaa paikoilleen. Erityisen vaikeissa olosuhteissa käytetään suurempia jääkuorman arvoja.

Rakenteisiin kohdistuvien jääkuormien oletetaan vaikuttavan vedenpinnan HW tai NW tasossa vaakasuorassa suunnassa.

Siltapilariin kohdistuu jääkuorma P_1 , joka aiheutuu ensisijaisesti pysyvän jääpeitteen lämpötilan muutoksesta, ja jääkuorma P_2 , joka aiheutuu virran paineesta kiinteään jääpeitteeseen. Kuorman P_1 otaksutaan vaikuttavan kohtisuoraan pilarin sivupintaa vastaan ja kuorman P_2 virran suunnassa. (Kuva H.1.1). Jääkuormien P_1 ja P_2 ei oleteta vaikuttavan samanaikaisesti.



Kuva H.1.1 Sillan tukeen vaikuttavat jääkuormat

Jääkuorman P_1 suuruus määritetään kaavasta

$$P_1 = b \cdot i_1 \quad (\text{H.1.1})$$

jossa

- b = siltapilarin leveys
 i_1 = 100 kN/m linjan Kemi-Kajaani eteläpuolella
150 kN/m linjan Kemi-Kajaani pohjoispuolella

Jos pilarin molemmin puolin on kiinteä jäänpeite, P :n arvoa voidaan pienentää.

Jos vesistön rannat siltapaikan alueella ovat niin jyrkät, että jääkenttä saa täyden tuen vastareunaltaan, (esim. kallioranta 1:1 tai jyrkempi) kerrotaan jääkuorman P_1 arvo kertoimella 1,5.

Jääkuorman P_2 suuruus määritetään kaavasta

$$P_2 = 0,5(l_1 + l_2)i_2 \quad (\text{H.1.2})$$

jossa

l_1 ja l_2 ovat etäisyydet tarkasteltavalta pilarilta viereisiin pilareihin

$i_2 =$ 20 kN/m linja Kemi-Kajaani eteläpuolella
30 kN/m linjan Kemi-Kajaani pohjoispuolella

Jos siltapaikan alueella esiintyy liikkuvaa jäätä, tarkistetaan siltapilarit lisäksi virran suunnassa vaikuttavalle kuormalle P_3 , joka määritetään kaavasta

$$P_3 = 1000 \cdot h \cdot d [\text{kN}] \quad (\text{H.1.3})$$

jossa

$h =$ jään paksuus tarkasteltavassa kohdassa (m)

Jään paksuudeksi ei kuitenkaan oleteta enempää kuin 1,0 m

$d =$ siltapilarin paksuus (m)

H.2 Tukipainuman ottaminen huomioon

Jos pääty- ja välituet perustetaan siten, että on odotettavissa perustusten painumia, arvioidaan painumaerot geoteknisten laskelmien perusteella. Kalliolle perustetut tuet oletetaan painumattomiksi. Maanvaraisten tukien painumaeroksi oletetaan aina vähintään 10 mm. Kalliokuoppaan ohuen täytteen varaan perustetun tuen siirtymäksi oletetaan 10mm, vaikka kuoppaa ei kuivateta.

Tukipainuma otaksutaan pysyväksi kuormaksi.

Maanpaineen tai muiden vaakasuorien kuormien rasittamien maanvaraisten perustusten siirtymät arvioidaan erikseen. Kalliolle perustetut tuet oletetaan vaakasuunnassa siirtymättömiksi. Maanvaraisten tukien siirtymän vaakasuorassa suunnassa oletetaan olevan aina vähintään 10 mm (joka otetaan huomioon liikuntasaumalaitteiden ja laakereiden liikevaroissa).

H.3 Laakerikitka

Liikkuvan laakerin kitka määritetään valmistajan suositusten mukaisesti ottaen huomioon materiaaliominaisuuksien ajasta riippuvat muutokset sekä laakerin mahdollinen likaantuminen ja syöpyminen. Riittävien tietojen puuttuessa määritetään kitkavoima kokeilla.

Teräksisten rullalaakerien laakerikitkan otaksutaan olevan 6 % pysyvän kuorman tukireaktiosta. Liukulaakereissa, joissa kitkapinnat ovat polytetrafluoretyleniä (PTFE), laakerikitka vaihtelee riippuen mm. lämpötilasta ja pintapaineesta. Ellei tarkempia selvityksiä ole käytettävissä kitkan voidaan otaksua olevan niissä 6 % pysyvän kuorman tukireaktiosta kun keskimääräinen pintapaine laakerissa on 20 MN/m² ja 10 % kun pintapaine on 10 MN/m². Väliarvot voidaan interpoloida lineaarisesti.

Ks. myös standardin SFS-EN 1993-2 liite A.

H.4 Maanpaineen käsittely

Lepopaine katsotaan yleensä pysyväksi kuormaksi. Jos joku osa maa-aineksesta/maasta voidaan otaksua poistettavaksi rakenteen käyttöaikana, lasketaan poistamisen vaikutus pysyvän kuorman muutoksena.

Maanpaine, joka aiheutuu maan pintaan kohdistuvasta kuormasta, luokitellaan samalla tavalla kuin kuorma, joka sen aiheuttaa (yhdistelykerroin ja varmuuskerroin aiheuttavan kuorman mukaan).

Siltöjen maa- ja välituet mitoitetaan vähintään lepopaineen suuruiselle maanpaineelle ja tarkistetaan myös 0,7 kertaa lepopaineen suuruiselle paineelle.

Jos rakenne pakotetaan liikkumaan maata vastaan, mitoitetaan se suuremmalle maanpaineelle kuin lepopaine (passiivipaine). Passiivipaineen tapauksessa yhdistelykerroin määräytyy aiheuttavan kuorman mukaan ja varmuuskerroin pysyvän kuorman mukaan.

H.5 Vedenpinnan aseman huomioonottaminen

Vedenpaine ja veden aiheuttama noste käsitellään pysyvänä kuormana. Rakenteilla on oltava riittävä kapasiteetti ja varmuus vedenpaineen ollessa alivedenpinnan (NW) tai ylivedenpinnan (HW) tasolla. Vedenpinnan mitoituskorkeudet määritetään siten, että niitä ei ylitetä tai aliteta todennäköisyydellä 98% rakenteen suunniteltuna käyttöaikana. Siltarakenteita mitoitettaessa voidaan yleensä käyttää vedenkorkeuksien arvoja HW_{50v} ja NW_{50v} .

H.6 Betonin kutistuminen ja viruminen

Betonin kutistuminen ja viruminen voidaan yleensä ottaa huomioon suunnittelussa loppuarvolla. Tilanne, jossa vain osa kutistumisesta ja virumisesta on tapahtunut, tutkitaan tarvittaessa. Liikennekuorman kuormittaessa rakennetta voidaan otaksua vähintään 50 % kutistumasta ja virumasta tapahtuneeksi. Lisäohjeita esitetään Liikenneviraston betonisiltöjen soveltamisohjeessa.

Kuormayhdistelyissä kutistuminen ja viruminen otetaan huomioon pysyvänä kuormana.

H.7 Jännevoima

Jännevoiman vaikutus lasketaan välittömästi jännittämisen jälkeen hetkellä $t = 0$ ja kaikkien häviöiden tapahtuttua hetkellä $t = \infty$. Tarvittaessa tarkastellaan jännevoiman vaikutus ajanhetkellä $t = t_1$, jolloin silta kuormitetaan ja vasta osa häviöistä on tapahtunut.

H.8 Laakereiden ja liikuntasaumalaitteiden liikevarojen määrittäminen

Laakereiden ja liikuntasaumalaitteiden liikevarat mitoitetaan taulukon G8 ominaisyhdistelmälle. Liikevaroissa on huomioitava taulukossa H.8.1 annettu lisävarmuus sekä tukien siirtymät. Liikuntasaumalaitteen ja laakereiden liikevaroja määrittäessä tulee ottaa huomioon kannen kiertymän vaikutus liikuntasaumalaitteeseen.

Taulukko H.8.1: Lisävarmuuden ΔT_0 ominaisarvot

Tapaus	Asentaminen	$\Delta T_0 [^\circ\text{C}]$
1	Asennus suoritetaan rakenteen ollessa ennalta määritetyssä lämpötilassa.	10
2	Asennus suoritetaan ilman, että rakenteen asennusaikaista lämpötilaa on ennalta määritetty tai jos kiinteän laakerin paikassa tapahtuu muutoksia.	20

Tukien siirtymiä laskettaessa otaksutaan:

- kalliolle perustettu tuki ei liiku
- maanvarainen tuki siirtyy ± 10 mm / tuki, päätytuki vain aukkoon päin
- paalutetut tuet laskelmien mukaan / ± 10 mm

Ellei tarkempaa tietoa ole saatavissa voidaan laakereita ja liikuntasaumalaitteita asennettaessa käyttää taulukon H.8.2 mukaisia asennuslämpötiloja.

Taulukko H.8.2: Asennuslämpötilat T_0

Laakeria asennettaessa			Liikuntasaumalaitetta asennettaessa	
Vuodenaika	Paikalla valettu	Muut sillat	Vuodenaika	Kaikki sillat
Kesä	+30°C	+20°C	Kesä	+20°C
Talvi	+20°C	-10°C	Talvi	-10°C

Kutistuman ja viruman vaikutusta laskettaessa voidaan rakenteen iän otaksua olevan 14 vrk jännitettäessä ja 42 vrk liikuntasaumalaitetta asennettaessa.

Piirustukseen merkitään tarvittava kokonaisliikemäärä ja asennusennakko tai asennusväli muuttuvan asennuslämpötilan mukaan ($\Delta T = 5^\circ\text{C}$) taulukkona. Kumilevy-laakereille ei voida asettaa asennusennakkoa.

H.9 Liikuntasaumat

Silloissa käytetään vain Liikenneviraston hyväksymiä liikuntasaumalaitteita ja massa-liikuntasauvoja (linkki [hyväksyntäkirjeeseen](#)). Myös massaliikuntasaumat käsitellään tässä ohjeessa liikuntasaumalaitteina. Hyväksyntäkirjeen lisäksi liikuntasaumalaitteille asetetaan siltasuunnitelmassa seuraavana esitetyt lisävaatimukset.

Saumalaitteen liikemäärän raja-arvot määritetään sillan liikkeen suunnassa.

Puukantisissa silloissa käytetään puristetussa tilassa olevaa kumi-profiilia, jonka liikevara on 0...50 mm.

Teräskantisissa silloissa laite kiinnitetään joko hitsaamalla tai ruuveilla kansilevyn läpi.

Piirustuksissa on ilmoitettava laitevaatimus, todellinen tarvittava liikevara ja kumi-profiilien määrä.

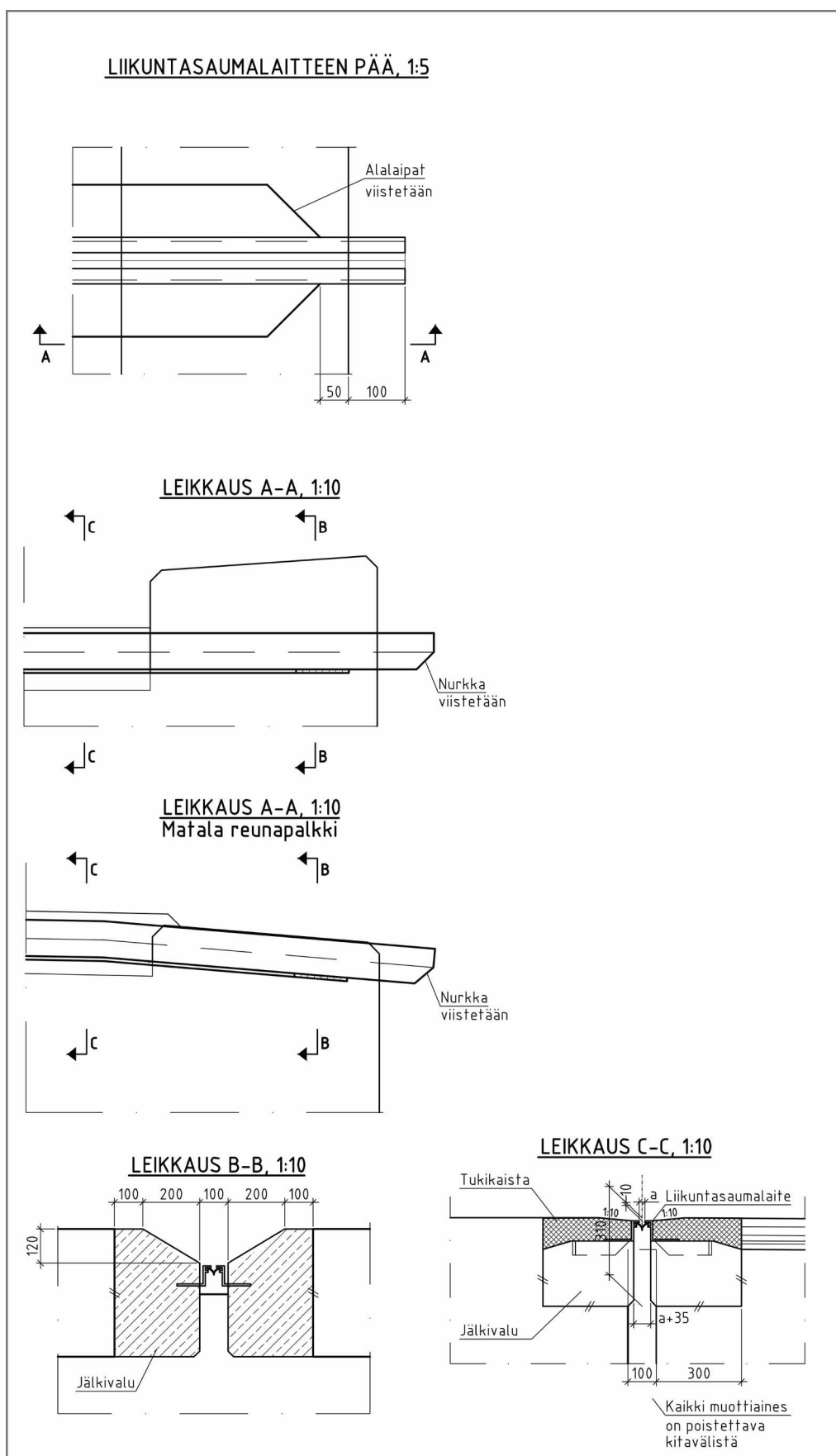
Liikuntasaumalaitteen kumi- ja teräsprofiili ulotetaan kuvan H.9.1 mukaisesti 100 mm reunapalkin ulkopuolelle, mikäli liikuntasaumalaitteen korkoasema laskee reunapalkkia kohden. Teräsprofiilin alalaipat leikataan tältä osin pois. Käytettäessä matalaa reunapalkkia on saumalaite viistettävä kannen reuna-alueilla reunapalkin yläpinnan kaltevuuteen siten, ettei saumalaitteen yläreuna jää reunapalkin yläpintaa korkeammalle tasolle.

Mikäli vettä ei voida johtaa reunapalkin ulkopuolelle, saumalaite voidaan reunapalkin kohdalla taittaa ylöspäin jotta vesi ei valu laitetta pitkin luiskaan kun sillan pituuskaltevuus on $\geq 2,0$ %.

Useampikumisen liikuntasaumalaitteen poikkikannattajat (traverssit) on asennettava sillan liikkeen suuntaisiksi.

Maatukiin, joissa on monikumielementtinen liikuntasaumalaite, tehdään tarkastus- ja huoltotila laitteen alle. Tarkastus- ja huoltotilan suunnittelussa käytetään Liikenneviraston julkaisun "Siltöjen hoito ja ylläpito, suunnitteluohje" ohjeita.

Jännitetyn sillan pääty liikuntasaumalaitteen kohdalla on suojattava tai muotoiltava niin, että mahdollinen vaurioituneen liikuntasaumalaitteen läpi valuva vesi ei kulkeudu suoraan jänneankkurialueelle.



Kuva H.9.1

Liikuntasaumalaitteen ulottaminen reunapalkin ulkopuolelle

H.10 Siltalaakerit

H.10.1 Yleistä

Laakerit mitoitetaan standardin SFS-EN 1337 mukaisesti.

Päällysrakenteen ja laakeritason välin on oltava kumilevylaakereita käytettäessä vähintään 200 mm ja muita laakerityyppejä käytettäessä 250 mm. Tästä poiketen kaikille laakerityypeille hyväksytään vähimmäisväli 150 mm, jos pilarin yläpinnan pintalan pienenäudesta johtuen laakerin kunto on helposti tarkastettavissa joka puolelta.

Laakereiden vaihtoa varten tarvittavat tunkkauskohdat esitetään suunnitelmissa. Mikäli rakenteessa ei ole tilaa tunkkauskohdille, on suunnitelmissa esitettävä, miten laakereiden vaihto on suunniteltu tapahtuvaksi.

Laakerit on tehtävä betonisissa silloissa irrotettaviksi kiinnittämällä niiden ala- ja ylälevyt pulteilla. Laakerit on varustettava pölysuojuksin.

Vinoissa silloissa varataan laakeritasolle ja päällysrakenteen alapintaan riittävästi tilaa laakerivarausta varten.

Laakereiden tulee olla testattu -40°C:ssa InfaRYL kohdan 42420.01 vaatimusten mukaisesti.

Laskettaessa laakeritappien tai liikerajaajatapppien leikkausvoimakapasiteettia on otettava vähentävänä tekijänä huomioon vaakavoiman vaikutuspisteen todellinen etäisyys betonin pinnasta. Laskenta voidaan tehdä esim. teoksen Leonhardt, Vorlesungen über Massivbau, Zweiter Teil, 1975 kohdan 3.6 mukaisesti.

Kumilevylaakeroiduissa silloissa, joiden päällysrakenteen pääty liikkuu penkereessä, liikerajaajien käytössä noudatetaan seuraavia periaatteita:

Jos päällysrakenteen pääty on kohtisuora liikesuuntaa vastaan, poikittaisia liikkeenrajaajia ei tarvita, ellei rajaajien käyttämiseen ole erityisiä perusteita.

Jos päällysrakenteen pääty on vino, tarvitaan poikittaisia siirtymiä estävät liikkeenrajaajat, jotka mitoitetaan niihin kohdistuville rasituksille.

H.10.2 Mitoituskuormien määrittäminen

Laakereiden rakenteellinen mitoitus suoritetaan taulukon G.5 mukaiselle murtorajatilän yhdistelmälle sekä taulukon G.8 mukaiselle käyttörajatilan ominaisyhdistelmälle. Tarvittaessa voidaan esittää myös onnettomuusrajatilan ja työaikaisten tilanteiden kuormitusyhdistelmiä.

Mikäli laakerin tukireaktio on puristusta käyttörajatilan ominaisyhdistelmällä, ei sitä tarvitse suunnitella vetoa kestäväksi. Mikäli laakerille tulee vetoa murtorajatilan kuormitusyhdistelmällä, on rakenteen kestävä laakerilta nousu tai laakeri on suunniteltava vetoa kestäväksi.

Tarkasteltaessa kumilevylaakerin liukuvarmuutta, voidaan liukuvarmuuden katsoa olevan riittävän, kun saman levymäisen rakenneosan laakereilla on yhteenlaskettuna

riittävä kapasiteetti symmetristen vaakavoimien ottamiseksi ja tukikohtaisesti epäsymmetristen kuormien (esim. sivusysäys) ottamiseksi.

Yhteen suuntaan liikkuvien laakereiden suuntaus ja siitä aiheutuvat pakko-voima-suureet on tarkasteltava laskelmissa. Laakerin toimittajaa varten esitetään taulukon H.10.1 mukaiset lähtötiedot.

Taulukko H.10.1

Laakeri:	L11		Sijainti:	T1			
Tyyppi:	Kalottilaakeri, yhteen suuntaan liik.						
	N _z [kN]	V _x [kN]	V _y [kN]	u _x [mm]	u _y [mm]	α _x [mrad]	α _y [mrad]
MURTORAJATILA (ULS)							
Laakerikuormat taulukon G.5 mukaiselle yhdistelmälle.							
max. N _{zd}							
min. N _{zd} ¹⁾							
max. V _{x,Ed}							
max. V _{y,Ed}							
KÄYTTÖRAJATILA (SLS)							
Laakerikuormat taulukon G.8 mukaiselle ominaisyhdistelmälle							
max. N _{zd}							
min. N _{zd}							
max. V _{x,Ed}							
max. V _{y,Ed}							
Laakerin lasketut siirtymät ja kiertymät taulukon G.8 mukaiselle ominaisyhdistelmälle							
max. u _{x,d}							
max. u _{y,d}							
max. α _{x,d}							
max. α _{y,d}							
ONNETTOMUUSRAJATILA (ACC)							
<div> <div> LIIKEVARAT (mm) ²⁾ -Sillan pituussuuntaan -Sillan poikkisuuntaan Suurin kiertymä (SLS) (rad) </div> <div> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> </div> </div> <div> </div>							
<div> <div> LAAKERIN MAKSIMIMITAT (mm) - alapinta BxL (D) - yläpinta BxL (D) - kiilalevyille+laakerille+alusvalulle varattu tila h </div> <div> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> </div> <div> (B sillan poikkisuuntaan) (L sillan pituussuuntaan) (D halkaisija) </div> </div>							
<div> <div> LAAKERIN VASTINPINTOJEN MINIMIKOOT (mm) - alapinta BxL (D) - yläpinta BxL (D) </div> <div> <input type="text"/> <input type="text"/> </div> </div>							
ASENNUSENNAKKO LIIKEKESKIÖÖN PÄIN (laakerin ylälevyä siirretään) (mm)							
t=5 C°	t=10 C°	t=15 C°	t=20 C°	t=25 C°	t=30 C°	t = päällysrakenteen lämpötila	

Vähintään taulukon tummennetut sarakkeet tulee täyttää.

Leikkausvoiman, siirtymien ja kiertymien max-arvo tarkoittaa absoluuttista maksimiarvoa (+ tai -)

- Laakerien liikevara mitoitetaan kappaleen H.8 mukaisesti.
- Mikäli murtotilan tukireaktio on vetoa, mutta laakeria ei tarvitse suunnitella vetoa kestäväksi, laitetaan min. N_{zd}-arvoksi "0"

Mikäli H.10.1:n mukaiset taulukot eivät mahdu laakerointipiirustukseen, tehdään niistä oma A4-kokoinen kansilehdellä varustettu piirustus, johon laakerointipiirustuksessa viitataan. Laakerointipiirustuksessa esitetään tällöin taulukon H.10.2 mukaiset lähtötiedot.

Kumilevylaakereista täytetään taulukon H.10.3 mukainen laakerikortti.

Taulukko H.10.2

	T1		T2	
	L11	L12	L21	L22
TYYPPI				
Kuormat murtotilassa (ULS): -PYSYVÄ TUKIREAKTIO -MAX TUKIREAKTIO -MIN TUKIREAKTIO VAAKAKUORMA SILLAN PITUUSSUUNTAAN (MN) VAAKAKUORMA SILLAN POIKKISUUNTAAN (MN)				
Liikevarat (ominaisyhdistelmä) LIIKEVARA SILLAN PITUUSSUUNTAAN (mm) LIIKEVARA SILLAN POIKKISUUNTAAN (mm) SUURIN KIERTYMÄ (rad) LAAKERIN MAKSIMIMITAT (mm) - ALAPINTA BXL (D) - YLÄPINTA BXL (D) KIILALEVYLLE+LAAKERILLE+ALUSTAVALULLE VARATTU TILA h (mm) LAAKERIN VASTINPINTOJEN MINIMIKOOT (mm) - ALAPINTA BXL (D) - YLÄPINTA BXL (D) ASENNUSENNAKKO LIIKEKESKIÖÖN PÄIN (mm) t=5 C° t=10 C° t=15 C° t=20 C° t=25 C° t=30 C° t=päällisrakenteen lämpötila				
Jos asennettavan laakerin korkeus on suurempi tai laakerityyppi tai levyjen muoto poikkeaa oletetusta, on sillan pääsuunnittelijan tarkastettava suunnitelma.				

Taulukko H.10.3

TIEDOT LAAKERISTA				Sivu	
Kohde		Esimerkki			Työ no.
piiri, kunta					12345
KUMILEVYLAAKERI		Tuki no.	1	Laakeri no.	101
Ulkomitat		Levyjen mitat		Nettokorkeus	
a =	300 mm	t _{kumi} =	8 mm	n =	4
b =	400 mm	t _u =	2.5 mm	c =	4 mm
h =	52 mm	t _{teräs} =	3 mm	d =	37 mm
Kumin liukumoduli on testattava		-40°C lämpötilassa		d/a =	0.123

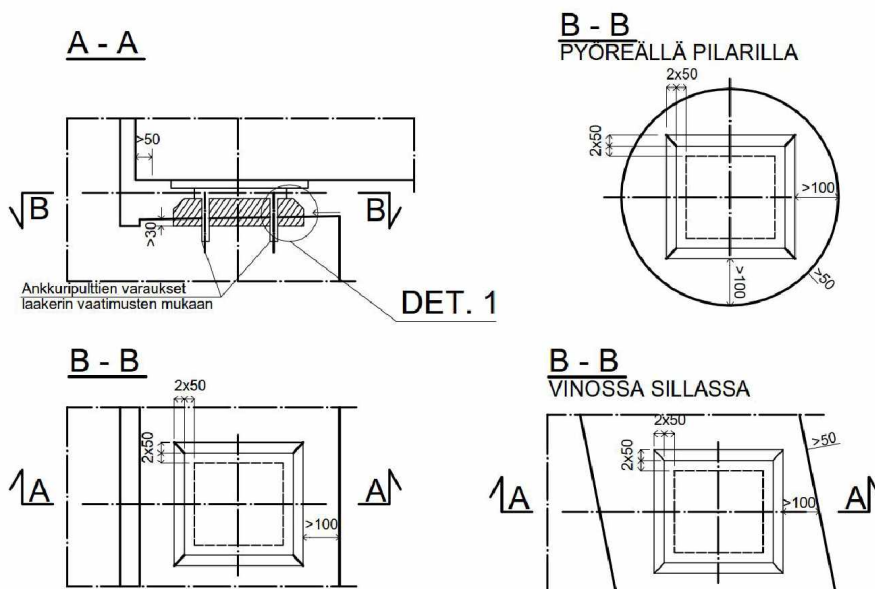
Laakerien lukumäärä						
Alustamateriaali	Yläpinta			Betoni	C30/37	
	Alapinta			Betoni	C50/60	Alusvalu
Sallittu keskimääräinen kosketuspaine (N/mm²)	Yläpinta					
	Alapinta					
Suunnittelu- kuormien vaikutukset (kN)	Murtorajatila	Pystys.	maks.	2000		
			pysyvä	850		
			min.	850		
		Poikittainen		0		
		Pituussuuntainen		0		
Siirtymä (mm)	Murtorajatila	Poikittainen	3			
Kiertymä (rad)	Murtorajatila	Pituussuuntainen	25			
		Poikittainen	0.003			
Laakerin maksimitat (mm)		Pituussuuntainen	0.01			
		Poikittainen				
		Pituussuuntainen				
Vaadittava kiinnitystapa		Kokonaiskorkeus				
		Yläpinta				
		Alapinta				

SFS-EN 1337-3:n mukaisessa laskennassa mitoitettaviksi tulleet kuormitusyhdistelyt:

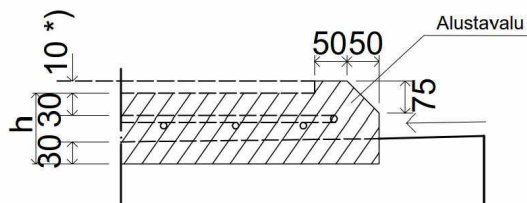
Kyhd. no	Pys.	$F_{z,d}$ [kN]	$F_{x,d}$ [kN]	$F_{y,d}$ [kN]	$M_{x,d}$ [kNm]	$M_{y,d}$ [kNm]	$v_{x,d}$ [mm]	$v_{y,d}$ [mm]	$\alpha_{b,d}$ [rad]	$\alpha_{a,d}$ [rad]
1		2000					25	3	0.01	0.003
2	1	850					15		0.005	

H.10.3 Laakerialusta

Laakerialustan muoto, mitat, materiaaliveatimukset ja rauditusperiaate on esitettävä suunnitelmassa.



Kuva H.10.1 Laakerin alustavalun mitat

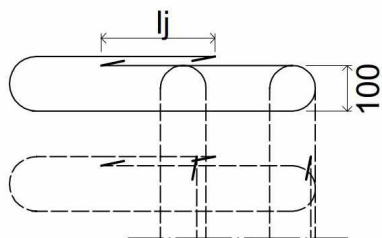


*) UPOTUS EI KOSKE KUMILEVYLAAKERIA

ALUSTAVALUN RAUDOITUSPERIAATE

1. JOS ALUSTAVALUN ALAPINTA ON KÄYTTÖRAJATILASSA PURISTETTU, MÄÄRÄTÄÄN ALUSTAVALUN TERÄSTYS SEURAAVASTI

- Jos alustavalun korkeus $h < 70$ mm, rauditusta ei tarvita
- Jos $70 < h < 170$, määritetään teräkset oheisen taulukon ja piirroksen mukaan



N _{max} (MN)	Rauditus	Jatkospituus (lj)
2.5	Ø 8 # 100	250
5.0	Ø 10 # 100	300
7.5	Ø 12 # 100	350

Suuremmilla laakerikuormilla rauditus määrätään tapauskohtaisesti.

2. MUULLOIN MÄÄRÄTÄÄN ALUSTAVALUN TERÄKSET JA ANKKUROIINTI ALUSRAKENTEeseen TAPAUSKOHTAISESTI.

Laakerialustan laatuvaatimukset on esitettävä piirustuksessa.

Kuva H.10.2 Laakerin alustavalun rauditusperiaate

Jos laakerin yläpuolelle joudutaan tekemään täytevalu, niin se on tehtävä samaan aikaan ja samasta betonista kuin kannen valu. Laakerilevyn reunaetäisyydet ja täytevalun reunaviisteet ovat samat kuin alustavalussa.

Jos täytevalun korkeus on yli 50 mm, niin se on raudoitettava. Rauditus on muuten sama kuin alustavalussa, mutta raudoitteet on ankkuroitava kannen betoniin.

Yli 100 mm korkea laakerin yläpuolista täytevalua ei saa tehdä.

H.10.4 Laakerin aluslevyn minimikoon määrittäminen

H.10.4.1 Sovellutusalue

Tätä ohjetta voidaan soveltaa kaikkiin teräsbetonialustalle asennettaviin laakereihin lukuun ottamatta kumilevy-laakereita. Niiden suunnittelu tehdään asianomaista ohjetta noudattaen.

H.10.4.2 Laskentaperusteet

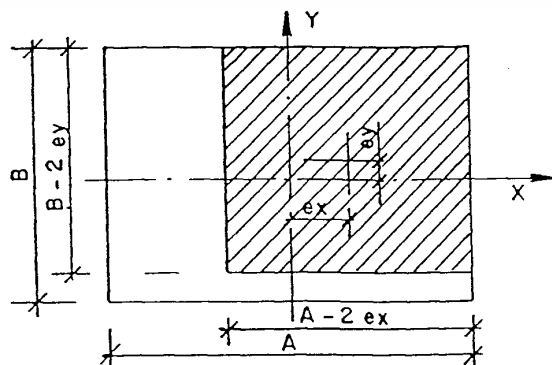
Betonin puristusjännitys laakerilevyn alla lasketaan paikallisena puristuksena ohjetta "Eurokoodin soveltamisohje: Betonisillat" noudattaen. Laskennan edellytyksenä on, että paikallisen puristuksen aiheuttama poikittaisjännitys on laskettu ja halkaisuvoima on tarvittaessa otettu raudoituksella.

Laatan läpilleikkautuminen saattaa myös tulla määrääväksi, jolloin joudutaan käyttämään suurempaa levykokoa kuin paikallinen puristuskestävyys edellyttäisi.

H.10.4.3 Kuormituspinta-ala

Laskennassa kuormituspinta-alana käytetään ns. tehokasta pinta-alaa, jossa kuorman epäkeskisyys ja laakerin liikevara on huomioitu pinta-alaa pienentävänä tekijänä.

Tehokas pinta-ala A_{eff} (A_{co})



$$e_x = \frac{\Delta L_x}{2} + \frac{H_x * h}{V}$$

$$e_y = \frac{\Delta L_y}{2} + \frac{H_y * h}{V}$$

ΔL_x = laakerin laskettu kokonaisliikevara pituussuunnassa.

ΔL_y = laakerin laskettu kokonaisliikevara poikkisuunnassa.

V = pystysuora laakerikuorma

H_x = laakerin vaakakuorma pituussuunnassa.

H_y = laakerin vaakakuorma poikkisuunnassa.

h = laakerin korkeus.

Vinossa sillassa kuormituspinnan A_{co} nurkka sijaitsee usein lähinnä pilarin tai rintamuurin reunaa. Suure A_{cl} lasketaan tämän nurkan reunaetäisyyden perusteella. Ympyränmuotoisen alalevyn vaadittavaa minimikokoa laskettaessa reunaetäisyytenä käytetään pinta-alaltaan vastaavan suuruisen neliön reunaetäisyyttä.

Tavanomaisissa kumipesälaakereissa voidaan laakerin korkeusmitta h valita laskenta varten taulukosta H.10.4. Muun tyyppisissä laakereissa ja suurissa kumipesälaakereissa käytetään valmistajan ilmoittamaa korkeusmittaa.

Taulukko H.10.4 Laakerin korkeus

V (kN)	h (mm)
1000	100
3000	125
5000	150
7000	175
10000	200

H.10.5 Laskentaesimerkki

Tätä laskentaesimerkkiä voidaan käyttää soveltaen.

Laakerin korkeus $h = 135 \text{ mm}$ (Taulukossa)

Kokonaisliikevara $\Delta L = 200 \text{ mm}$

Laskentakuorma $V = 6,02 \text{ MN}$ ($1,25g + 1,35q_{k1}$)

Vaakakuorma pituussuunnassa $H_x = 0,14 \text{ MN}$

Vaakakuorma Poikkisuunnassa $H_y = 0,12 \text{ MN}$

Kansilaatan betoni $C35/45 - 3$, $f_{cd} = 25,9 \text{ MN/m}^2$

Tuen betoni $C30/37 - 3$, $f_{cd} = 22,2 \text{ MN/m}^2$

1. YLÄLAATTA

Ratkaistaan tehokas pinta-ala kaavasta

$$F_{Rdu} = A_{co} \times f_{cd} \times \sqrt{\frac{A_{cl}}{A_{co}}} \quad F_{Rdu} = V$$

$$A_{co} = \frac{V^2}{f_{cd}^2 \times A_{cl}}$$

A_{cl} :n määrittämiseksi lasketaan kuormituksen epäkeskisyys ja otaksutaan A_{co} :lle pienin mahdollinen arvo.

$$A_{co} = \frac{V}{3 \times f_{cd}} = \frac{6,02}{3 \times 25,9} = 0,077 \text{ m}^2$$

$$e_x = \frac{200}{2} + \frac{0,14 \times 135}{6,02} = 103 \text{ mm}$$

$$e_y = \frac{0,12 \times 135}{6,02} = 3 \text{ mm}$$

$$A_{cl} = 0,63 \text{ m}^2 \text{ (Ks: kuorman jakaantuminen)}$$

$$A_{co} = \frac{6,02^2}{25,9^2 \times 0,63} = 0,086 \text{ m}^2$$

Pinta-ala on suurempi kuin minimiarvo joten ylälevyn tehokas pinta-ala

$$A_{eff} (A_{co}) \geq 0,086 \text{ m}^2$$

Ratkaistaan sivumitat yhtälöparista

$$(A - 2e_x)(B - 2e_y) = A_{eff}$$

$$A = B + \Delta L$$

$$B^2 + B(\Delta L - 2e_y - 2e_x) - 2\Delta L e_y + 4e_x e_y - A_{eff} = 0$$

$$B^2 - 12B - 85964 = 0$$

$$B = \frac{-(-12) + \sqrt{(-12)^2 - 4 \cdot 1 \cdot (-85964)}}{2}$$

$$B = 299 \text{ mm}$$

$$A = 299 + 200 = 499 \text{ mm}$$

2 ALALEVY

$$\text{Otaksutaan että } A_{co} = \frac{V}{3 \times f_{cd}} = \frac{6,02}{3 \times 22,2} = 0,090 \text{ m}^2$$

Lasketaan epäkeskisyys

$$e_x = \frac{0,14 \times 135}{6,02} = 3 \text{ mm}$$

$$e_y = \frac{0,12 \times 135}{6,02} = 3 \text{ mm}$$

$$A_{c1} = 1,44 \text{ m}^2 \text{ (Ks : Kuorman jakaantuminen)}$$

$$A_{co} = \frac{6,02^2}{22,2^2 \times 1,44} = 0,051 \text{ m}^2$$

Laskettu pinta-ala on pienempi kuin minimivaatimus, joten alalevyn tehokas pinta-ala

$$A_{eff} (A_{co}) \geq 0,090 \text{ m}^2.$$

Oletetaan, että levy on neliö, jonka sivumitta on B.

Ratkaistaan sivumitta yhtälöstä

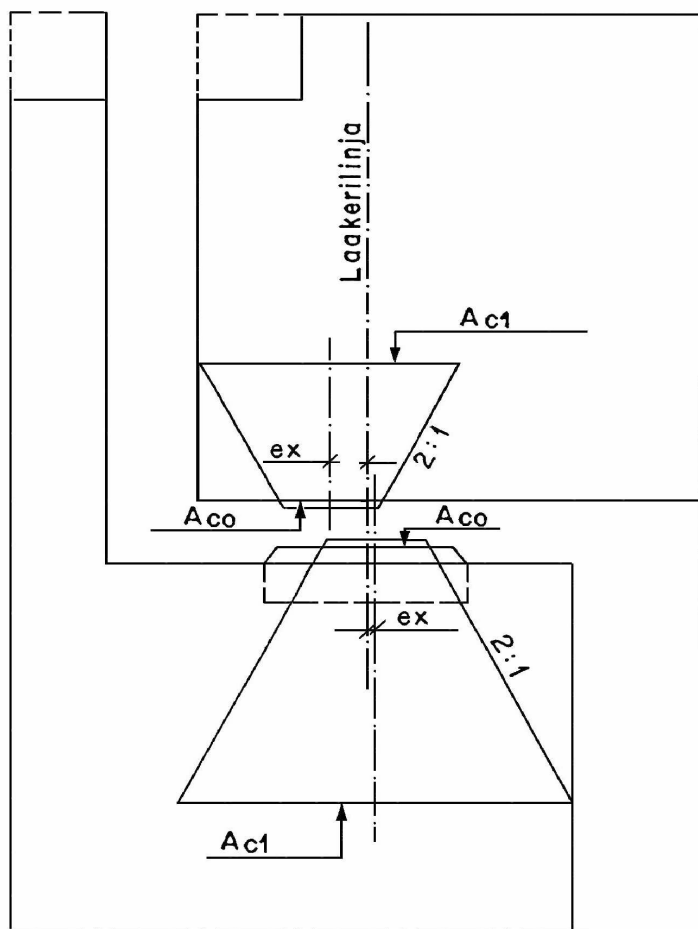
$$(B - 2e_x)(B - 2e_y) = A_{eff}$$

$$B^2 - B(2e_y + 2e_x) + 4e_x e_y - A_{eff} = 0$$

$$B^2 - 12B - 89964 = 0$$

$$B = 306 \text{ mm}$$

Kuorman jakaantuminen laakeritasossa ja päällysrakenteessa on esitetty kuvassa H.10.3.



Kuva H.10.3

Kuorman jakaantuminen

H.11 Pintarakenteet

H.11.1 Yleistä

Tässä kappaleessa esitetään siltakannen pintarakenteen valintaan liittyviä yleisperiaatteita. Pintarakenteen valinta tehdään sillan tuote- ja laatuvaatimusten ja/tai sillan rakennussuunnitelman laadinnan yhteydessä yhteistyössä tilaajan kanssa.

Tämä kappale käsittelee yleisimpiä ajoneuvoliikenteen siltöjen ja rautatiesiltöjen pintarakenteita. Erikoisrakenteet, kuten rautatiesiltöjen näkyviin jäävät kaukalopalkkien pinnat ja tukikerroksettömien siltöjen betonipinnat, pinnoitetaan erillisen kohdekohtaisen suunnitelman mukaisesti.

Pintarakenteeseen kuuluvat eristysalustan pohjustus- tai tiivistyskäsittely, vedeneristys, vedeneristuksen suojakerros sekä päällystekerrokset. Pintarakenteen on tarkoitus suojata siltakansi kulutukselta, kosteudelta ja klorideilta. Kansilaatan suojaus pidentää oleellisesti rakenteen käyttöikää ja korjausväliä.

Pintarakennneratkaisut voidaan ryhmitellä seuraavasti:

1. Vedeneristys on kauttaaltaan kiinni alustassa.
2. Vedeneristys sekä siltakansi varustetaan paineentasausrakenteella.
3. Vedeneristys on kokonaan irti alustasta.

Uusia siltöja rakennettaessa käytetään ensisijaisesti kauttaaltaan kannessa kiinni olevia pintarakennneratkaisuja (1), joita pidetään kestävimpinä ja pitkäikäisimpinä. Paineentasausrakenteella varustettuja vedeneristyskiä (2) käytetään betonikantisilla silloilla erityisesti silloin, kun alustan riittävän alhaista kosteuspitöisuutta ei voida saavuttaa tai korjattavalla sillalla on esiintynyt toistuvasti eristuksen kuplimista.

Alustasta irti olevat vedeneristykset (3) soveltuvat lähinnä maatyttöisten siltöjen korjauksiin silloin, kun vedeneristystöihin käytettävä urakka-aika on liian lyhyt ensisijaisen eristysten rakentamiseen. Nämä eristykset voidaan asentaa vanhojen betonipintojen tai eristysten päälle, mikäli tilaaja hyväksyy vanhan alustan korjaamatta jättämisen.

Yhtenä pintarakennneratkaisuna voidaan pitää rakennetta, jossa betonikanteen kiinnitetty kermieristys suojataan suojabetonilla. Suojabetonin ensisijaisena tarkoituksena on omalla painollaan estää vedeneristuksen kupliminen. Suojabetonin käyttö suolattavien teiden silloilla edellyttää aina erityisiä perusteita, koska betonin pakkasuolarapautuminen lyhentää koko pintarakenteen käyttöikää, ja rakenteen korjauskustannukset ovat suojabetonin vaikean poistettavuuden takia usein suuremmat kuin muilla pintarakennneratkaisuilla. Rautatiesilloilla suojabetoni on aina ensisijainen ratkaisu, josta voidaan poiketa ainoastaan tilaajan hyväksynnällä.

Betonikantisten siltöjen pintarakenteet voidaan ryhmitellä myös alustan käsittelyn mukaan. Mikäli vedeneristys on kokonaan kiinni alustassaan, tiivistetään betonikansi yleensä eristeen kuplimisen välttämiseksi epoksilla tai tuotekohtaisella tiivistys- tai esikäsitteleyaineella. Alustan käsittelemistä kumibitumiliuoksella ei pidetä varsinaisena alustan tiivistysmenetelmänä, vaan sen tarkoitus on lähinnä parantaa bitumipohjaisen eristeen tartuntaa vaikuttamatta sinänsä lainkaan alustan höyryntiiveyteen.

Taulukko H.11.1 Betonikantisen ajoneuvoliikenteen sillan pintarakennevaihtoehdot

Vedeneristys kokonaan kiinni alustassaan				
Vedeneristys	Alustan käsittely	Suojakerros		
Kaksinkertainen kermieristys H.11.3.1.1.	→ Epoksitiivistys koko kansilaatan alueelle H.11.4.1.	→ AB5, 20 mm (AA5, 20 mm) H.11.5.1.	Suojabetoni H.11.5.2.	Suojahiekka maatayttöisissä silloissa H.11.5.3.
	→ Kumibitumiliuos koko kansilaatan alueelle H.11.4.2.	→ Suojabetoni H.11.5.2.	AB5, 20 mm (AA5, 20 mm) H.11.5.1.	Suojahiekka maatayttöisissä silloissa H.11.5.3.
Nestemäisenä levitettävä vedeneristys H.11.3.3.	→ Tuotekohtainen tartunta-aine koko kansilaatan alueelle H.11.4.3.	→ Tuotekohtaisesti hyväksytty suojakerros (yleensä VA, KBVA tai tartute ja AB11) H.11.5.1.		

Paineentasausrakenteella varustettu vedeneristys				
Vedeneristys	Alustan käsittely	Suojakerros		
Mastiksieristys H.11.3.2.	→ Epoksitiivistys koko kansilaatan alueelle H.11.4.1.	AB11, 25 mm H.11.5.1.		
	→ Epoksitiivistys vain kansilaatan reunoille ja läpivientien ympärille H.11.4.1.	AB11, 25 mm H.11.5.1.		
Kaksinkertainen kermieristys, aluskerminä paineentasauskermi H.11.3.1.2.	→ Epoksitiivistys koko kansilaatan alueelle H.11.4.1.	AB5, 20 mm (AA5, 20 mm) H.11.5.1.		
	→ Epoksitiivistys vain kansilaatan reunoille ja läpivientien ympärille H.11.4.1.	AB5, 20 mm (AA5, 20 mm) H.11.5.1.		

Vedeneristys kokonaan irti alustastaan				
Vedeneristys	Alustan käsittely	Suojakerros		
Kumimattoeristys H.11.3.4.	→ Eristeen alle kumirouhematto (4 mm)	Kaksinkertainen kumirouhematto 11+11 mm H.11.5.4.		
Bentoniittimattosuojaus H.11.3.5.	→ Ei vaadi eristysalustan esikäsittelyä	Ohutmuovi ja murske- tai soratäyte ≥300 mm InfraRYL 42310.3.2.5.2		

Värien selitykset

	Ensisijaisesti käytettävä rakenne
	Käyttö harkittava tapauskohtaisesti
	Käyttö ainoastaan tilaajan erityisluvalla

H.11.2 Kannen pintarakenteen valinta

H.11.2.1 Vedeneristykset betoni-, teräs- ja puukantisilla silloilla

Sillan suunnittelijan tulee valita siltakohtaisesti parhaiten soveltuva pintarakenne ja esittää se tilaajan hyväksyttäväksi. Eristystyyppin valinnan lisäksi suunnittelijan tulee määrittää, kuinka eristysalusta käsitellään ja miten valmis eristys suojataan. Myös sillan päällystekerrosten valintaan tulee kiinnittää huomiota, jotta sillan päällyste on laadultaan vähintään samalla tasolla ympäröivän väylän kanssa.

Tyypillisimmät eristysratkaisut ovat kansimateriaalista riippumatta kaksinkertainen kermieristys, nestemäisenä levitettävä eristys sekä mastiksieristys. Nykyiset eristystyyppit ovat olleet käytössä 1980-luvun alusta, jolloin moderneja kermi- ja mastiksieristysryhdyttiin valmistamaan kumibitumisista raaka-aineista. Nestemäisenä levitettävät eristykset tulivat käyttöön noin 10 vuotta myöhemmin.

*Taulukossa H.11.1 ja kohdassa H.11.8 esitetyistä yleisimmistä pintarakenneratkaisuista voidaan tapauskohtaisesti poiketa silloin, kun siltapaikalla vallitsevat olosuhteet, materiaalien saatavuus, lyhyet urakka-ajat tai muut työn suorittamista rajoittavat tekijät puoltavat jonkun toissijaisen rakenteen käyttöä. Erityisesti korjattavilla silloilla tulee huomioida vanhan betonikannen kosteuspitoisuus ja karheus vedeneristettä valittaessa. Eristysalustan vaatimukset ylittävä kosteuspitoisuus kasvattaa eristeen kuplimisriskiä, mikä puoltaa paineentasausrakenteella varustetun eristyksen tai suojabetonin valitsemista. Mastiksieristyskäyttöä puoltaa lisäksi alustan karheus, koska mastiksi peittää muita eristeitä paremmin epätasaiset pinnat. Eristysalustan kosteuden raja-arvot on esitetty eri eristystyypeille *InfraRYL Taulukossa 42310:T1*.*

Betonisten siltakansien vedeneritysvaihtoehdot ovat:

1. Kaksinkertainen kumibitumikermieristys (H.11.3.1) silloin, kun vedeneritykselle halutaan mahdollisimman pitkä käyttöikä. Hyväkuntoiselle betonialustalle tehdyn kermieristysarvioitu käyttöikä on 40 vuotta.
2. Nestemäisenä levitettävä vedeneristys (H.11.3.3) samoin perustein kuin kermieristys. Arvioitu käyttöikä on 40 vuotta. Asennusmenetelmänsä ansiosta tämä on ainoa täysin työsaumaton vedeneristys.
3. Kumibitumimastiksieristys (H.11.3.2) silloin, kun betonialusta on vaikea saada tasaiseksi tai kuivaksi. Mastiksieristys on nopea tehdä ja se on paineentasausrakenteensa ansiosta kuplimaton eriste. Arvioitu käyttöikä on 30 vuotta.
4. Kumimattoeristys (H.11.3.4) ainoastaan maatyöteiden rautatie- ja ajoneuvoliikenteen siltöjen korjauksissa silloin, kun työt on tehtävä lyhyiden liikennekatkojen aikana eikä huonokuntoinen betonialusta sovellu alustaan kiinnitetyille vedeneristyksille. Kumimattoa ei kiinnitetä eristysalustaan, minkä takia se voidaan asentaa jopa märän betonin tai vanhan eristyksen päälle.
5. Bentoniittimattosuojaus (H.11.3.5) maatyöteiden silloissa kuten vihersilloissa, joissa betonialusta ei sovellu alustaan kiinnitetyille vedeneristyksille ja betonirakenteiden sallitaan pysyvän kosteina.

Betonikansilla kermi- ja mastiksieristuksen alusta tiivistetään yleensä epoksilla pintarakenteen kuplimisriskin vähentämiseksi. Lisäksi tiivistyskäsittely suojaa betonipintaa pakkassuolarapautumiselta, mikäli vedeneritys vuotaa käytön aikana. Tiivistyskäsittely voidaan jättää kokonaan tai osittain pois kohdan H.11.4.1 mukaisesti silloin, kun eristys suojataan suojabetonilla, eristysenä käytetään paineentasausrakenteella varustettua vedeneristystä tai kun kansilaatta on niin ohut tai kuiva, että kuplimesta voidaan pitää epätodennäköisenä.

Teräskantisten siltöjen vedeneristysvaihtoehdot ovat:

1. Kumibitumimastiksieristys kaikilla teräskansilla.
2. Kaksinkertainen kumibitumikermieristys silloin, kun kantta ei ole varustettu kiinnitysteräksillä.
3. Nestemäisenä levitettävä vedeneristys silloin, kun kantta ei ole varustettu kiinnitysteräksillä.

Teräskansilla kermi- ja mastiksieristuksen alusta pohjustetaan kumibitumiliuoksella kannen korroosion estämiseksi ja eristuksen tartunnan varmistamiseksi. Lisäksi mastiksieristuksen alustalle levitetään alemmaksi eristyskerrokseksi kumibitumia vähintään 3 kg/m². Nestemäisenä levitettävän eristuksen alusta käsitellään tuotekohtaisesti hyväksytyn menettelyn mukaisesti.

Puukantisten siltöjen vedeneristysvaihtoehdot ovat:

1. Kumibitumimastiksieristys ensisijaisesti
2. (Kaksinkertainen kumibitumikermieristys poikkeustapauksissa)
3. (Nestemäisenä levitettävä vedeneristys poikkeustapauksissa)

Puukantisilla silloilla mastiksieristuksen alustaa ei pohjusteta lainkaan, eikä eristuksen alle levitetä paineentasausverkkoa. Kermieristuksen alusta pohjustetaan kumibitumiliuoksella. Nestemäisenä levitettävän eristuksen alusta käsitellään tuotekohtaisesti hyväksytyn menettelyn mukaisesti.

H.11.2.2 Pintarakenteen esittäminen suunnitelmassa

Siltakohtaisissa suunnitelma-asiakirjoissa ja työselostuksessa määritellään pintarakenteen eri kerrosten laatu ja paksuus käyttäen tässä ohjeessa ja *InfraRYL kohdassa 42300.3*, annettuja nimityksiä.

Sillan yleispiirustuksessa esitetään aina:

- Sillan pintarakenteen eri kerrosten laatu ja paksuus
- Ajoneuvomäärästä riippuva käyttöluokka kermieristystä käytettäessä (H.11.8.3)
- Eristysalustalle vaadittavat käsittelyt kohdan H.11.4 mukaisesti (epoksitiivistys, kumibitumiliuossively, jokin muu)
- Paineentasauskermirakenne, jos sellainen on valittu sekä huomautus molemente reunoille asennettavasta normaalista yhden kermin levyisestä aluskermikaistasta

- Eristyksen suojakerros (kohta H.11.5)
- Päälystetyyppi (kohta H.11.6)
- Päälysteen sauma (kohta H.11.6)
- Rautatiesilloilla tukikerroksen paksaus

Sillan korjaussuunnitelman yleispiirustuksessa esitetään lisäksi betonikannen purku, muotoiluvalu sekä muut eristysalustan kunnostustyöt.

H.11.3 Vedeneristysvaihtoehdot

H.11.3.1 Kaksinkertainen kermieristys

Kaksinkertainen kermieristys on käytetyin vedeneristysmenetelmä ja se sopii kaikille silloille. Kermieristys koostuu joko kauttaaltaan alustaan liimaamalla tai hitsaamalla kiinnitettävistä alus- ja pintakermeistä. Tapauskohtaisesti aluskermiksi voidaan valita myös höyrynpainetta tasaava paineentasauskermi (ks. H.11.3.1.2).

Kermieristuksen tyypistä riippumatta käsitellään uuden sillan betoninen eristysalusta lähtökohtaisesti aina tiivistysaineella H.11.4.1 mukaisesti.

H.11.3.1.1 Alustaan kiinnitetty kermi

Betonikansilla kermieristuksen tyyppillinen haittapuoli on ollut eristeiden kupliminen eli irtoaminen alustastaan. Tämän takia kauttaaltaan alustaan kiinnitettävän kermieristeen käyttö edellyttää hyvää aluskerman ja alustan välistä tartuntavetolujuutta, betonin sisäistä vetolujuutta, betonin riittävän alhaista kosteuspitoisuutta sekä alustan höyrytiiveyttä. Betonisen eristysalustan vaatimukset on esitetty *InfraRYL kohdassa 42310.2.1*.

Aluskerman ensisijainen asennustapa on liimaus, koska sula liimausbitumi tunkeutuu varmemmin alustan epätasaisuuksiin. Hitsattaessa kermin alapinnassa oleva tartuntabitumi sulatetaan samalla, kun kermiä rullataan auki ja painetaan kiinni alustaansa. Suunnittelijan ei kuitenkaan tarvitse määritellä kermin kiinnitysmenetelmää.

H.11.3.1.2 Paineentasauskermi aluskermanä

Paineentasauskermiä saa käyttää vain tilaajan hankekohtaisesti antamalla luvalla ja tällöinkin ainoastaan sellaisilla betonikansilla silloilla, joiden pituuskaltevuus on enintään 4 %. Kyseistä rakennetta ei saa käyttää ramppisilloilla eikä liikennevalojen tai risteysten yhteydessä sijaitsevilla silloilla. Paineentasauskermiä ei käytetä rautatiesilloilla.

Paineentasauskermillisen sillan kansilaatta varustetaan kohdan H.11.8.4 mukaisesti paineentasausputkilla. Paineentasausputkien paikat esitetään aina suunnitelmassa.

Kun aluskermanä käytetään paineentasauskermiä, asennetaan sillan molemmille reunoille ensimmäinen kermikaista kauttaaltaan alustaan kiinnitettynä tavallisena aluskermanä ja vasta sitä seuraavat paineentasauskermeinä. Kermejä asennettaessa on eristys jaettava noin 10 metrin ruutuihin kannen pituussuunnassa liimaamalla paineentasauskermi kumibitumilla kauttaaltaan kiinni alustaan kannen poikkisuunnassa. Paineentasauskermit kiinnitetään alustaansa pisteliimaaten. Tippu- ja pintavesiputkien kohdalla aluskermi liimataan kauttaaltaan alustaansa 300 mm säteellä putkesta. Muilta osin kermi jää irti alustastaan.

Korjattavalla sillalla paineentasauskerman alusta voidaan jättää tilaajan hyväksynnällä osittain tiivistämättä, kun sillan suunnittelija on arvioinut tiivistyskäsittelyn tarpeettomaksi. Tällöin kansilaatasta käsitellään kaksinkertaisella epoksitiivistyksellä vähintään 500 mm levyiset kaistat reunapalkkien juurista sekä 300 mm säteellä olevat alueet tippu- ja pintavesiputkien ympäriltä. Tiivistyskäsittelyn tarkoituksena on parantaa eristeen vesitiiveyttä ja tartuntaa kannen kriittisillä alueilla. Tiivistetyille kaistoille ei sovelleta InfraRYL:ssä esitettyjä tiiveysvaatimuksia.

H.11.3.2 Mastiksieristys

Kumibitumimastiksi on paineentasausverkon päälle kuumana levitettävä vedeneriste, joka koostuu runkoaineesta ja polymeerimodifioidusta bitumisideaineesta. Kumibitumimastiksi levitetään eristysalustalle yhtenä kerroksena, jolloin työsaumojen limitykseen ja vesitiiveyteen on kiinnitettävä erityistä huomiota.

Mastiksieristys voidaan tehdä kosteammalle ja epätasaisemmalle alustalle kuin muut eristysrakenteet. Betoninen kansilaatta varustetaan aina paineentasausputkistolla (ks. H.11.8.5) ja -verkoilla, jotka estävät mastiksin kuplimisen levitystyön ja käytön aikana.

Eristettävän alueen reunat jätetään reunapalkin sisäreunasta lukien 200 mm levyiselle alueelle ilman paineentasausverkkoa. Paineentasausverkko kiinnitetään pisteliimaten kumibitumilla siten, ettei se pääse massan levitysvaiheessa poimuuntumaan. Paineentasausjärjestelmä osastoidaan 10 metrin välein liimaamalla paineentasausverkko kauttaaltaan kumibitumilla eristysalustaan.

Mastiksieristys sopii sekä betoni-, teräs- että puukantisille kansille. Sitä ei kuitenkaan käytetä liittopalkki- ja köysisilloilla, joilla kansilaatan muodonmuutokset ovat suuria. Lisäksi sen käyttöä tulee välttää liikennevalojen ja risteysten yhteydessä sijaitsevilla silloilla. Teräskannet tulee tapauskohtaisesti varustaa kiinnitysteräksillä.

Mastiksieristettä käytettäessä betonialusta tiivistetään lähtökohtaisesti kauttaaltaan epoksilla. Mikäli koko kannen epoksitiivistys jätetään pois, tiivistetään kannesta aina vähintään 500 mm levyiset kaistat reunapalkkien juurista sekä 300 mm säteellä olevat alueet tippuputkien ympäriltä. Tiivistyskäsittelyn tarkoitus on parantaa eristeen vesitiiveyttä ja tartuntaa kannen kriittisillä alueilla. Tiivistetyille kaistoille ei sovelleta InfraRYL:ssä esitettyjä tiiveysvaatimuksia.

H.11.3.3 Nestemäisinä levitettävät eristykset

Nestemäisenä levitettävät vedeneristykset ovat yleensä polyuretaani-, akryyli- tai epoksipohjaisia, useasta kerroksesta koostuvia vedeneristysrakenteita. Asennuksen ruiskutusmenetelmästä johtuen eristys on yhtenäinen ja saumaton koko kansilaatan alueella.

Nestemäisenä levitettävää vedeneristystä voidaan käyttää samoin perustein kuin kermieristystä. Ne soveltuvat kaikille silloille ja ovat oikein tehtynä luotettavia vedeneristeitä. Niiden etuna voidaan pitää hyvää tartuntaa alustaansa ja halkeamien silloituskykyä. Näiden eristysten kuplimisriski on betonikansilla pienempi kuin kermieristeillä, koska nestemäisinä levitettävien eristysten tartunta alustaansa ei heikene kannen lämpötilan noustessa.

Käyttö edellyttää, että *InfraRYL 42310.3.2.4* mukainen eristyksen ja alustan välinen tartuntavetolujuus voidaan saavuttaa. Lisäksi betonisen eristysalustan sisäisen vetolujuuden tulee täyttää vastaava vetolujuusvaatimus, minkä takia nestemäisten eristysten käytettävyys korjattavilla kansilla tulee arvioida erikseen.

Betonikantisten siltöjen eristysalusta käsitellään kauttaaltaan tuotekohtaisesti hyväksytyllä tiivistys- tai pohjustusaineella valmistajan ohjeita noudattaen.

H.11.3.4 Kumimatto

Kumimattoeristystä käytetään ainoastaan korjattavilla rautatiesilloilla ja maatayttöisillä ajoneuvoliikenteen silloilla silloin, kun pintarakenteiden korjaukseen käytettävä aika on liian lyhyt ensisijaisten eristysratkaisujen toteuttamiseksi. Kumimattoeristysen laatuvaatimukset on esitetty *InfraRYL-kohdassa 42310.3.2.5.1*.

Kumimatto voidaan tapauskohtaisesti korjauskohteissa asentaa myös vanhan suojabetonin tai eristeen päälle. Kumimaton alla käytetään tasaavana kerroksena 4 mm paksuista kumirouhemattoa. Eristysalustan epätasaisuudet on hierrettävä pois ennen mattojen asennusta.

Kumimatto liimataan eristysalustaan ainoastaan reunoilta sekä läpivientien ympäriltä. Kumimattoeristys suojataan kaksinkertaisella kumirouhematolla 11 mm + 11 mm (H.11.5.4).

Sillan suunnittelijan tulee esittää detaljit läpivienti-, liikuntasaumakohdista sekä mattojen ylösnostoista reunarakenteeseen. Kivisten tai betonisten reunapalkkien saumoista ei saa päästä valumaan kosteutta maton alle. Maton käyttökelpoisuutta tulee harkita tarkkaan siltakohteissa, joissa kannen yläpinnan muodot ovat poikkeukselliset tai yläpinnassa on merkittäviä porrastuksia. Mattoja käytettäessä on varmistettava kiinni pysyminen betonipintojen mahdollisissa taitekohdissa.

H.11.3.5 Maatäyttöisten holvisiltöjen bentoniittimattosuojaus

Maatäyttöiset sillat, kuten esimerkiksi vihersillat voidaan suojata pohja- ja suotovesiä vastaan bentoniittimatolla *InfraRYL-kohdan 42310.3.2.5.2 Bentoniittimattoeristys* mukaisesti. Tämä rakenne ei kuitenkaan ole tavanomainen ratkaisu, minkä takia käyttö on mahdollista ainoastaan tilaajan hyväksynnällä. Bentoniittimattosuojausta ei käytetä rautatiesilloilla eikä ajoneuvoliikenteen silloilla.

Bentoniittimatto asennetaan suojattavalle betonipinnalle ja saumat limitetään vähintään 300 mm. Koska kostean bentoniittimaton ei ole tarkoitus pitää betonirakenteita täysin kuivina eikä sitä kiinnitetä alustaansa, ei eristämistä ja eristysalustaa koskevia laatu- ja olosuhdevaatimuksia sovelleta bentoniittimaton kohdalla.

Bentoniittimaton vedeneristävyys perustuu suodatinkankaiden väliin sidotun bentoniittisaven ominaisuuteen laajentua vettä läpäisemättömäksi kerrokseksi maton kostuessa. Vesitiiveys kuitenkin katoaa bentoniitin kuivuessa, minkä takia maton päälle levitetään kosteutta pidättävä ohutmuovi, joka täyttää *InfraRYL-kohdassa 14231.1.2* esitetyt vaatimukset.

H.11.4 Eristysalustan käsittely

Eristettävä betoninen kansilaatta käsitellään pohjustus- tai tiivistysaineella vedeneristuksen tartunnan parantamiseksi ja eristeen kuplimisriskin vähentämiseksi. Tiivistyskäsittely hidastaa myös kosteuden ja kloridien tunkeutumista kansilaattaan, mikäli eriste vuotaa. Näistä eduista johtuen betoninen kansilaatta käsitellään yleensä kauttaaltaan tiivistysaineella, yleensä epoksilla.

Mikäli urakoitsija esittää muutoksia sillan pohjustuskäsittelyyn, tulee ehdotus käsitellä suunnitelmamuutoksena. Alkuperäisen suunnittelijan tulee arvioida muutoksesta johtuvat eristuksen toimintaan liittyvät vaikutukset ennen kuin muutosehdotus hyväksytään ja suunnitelma tältä osin muutetaan.

H.11.4.1 Betonikannen tiivistäminen

Kermi- tai mastiksieristystä käytettäessä betoninen eristysalusta käsitellään ensisijaisesti kaksinkertaisella epoksitiivistyksellä *InfraRYL-kohdan 42310.3.2.1 alakohtien 4...6 mukaisesti*. Betonisen eristysalustan tiivistysaineen tulee täyttää *InfraRYL kohdan 42310.1.4* materiaalivaatimukset. Epoksitiivistyksen höyrytiiveyden saavuttamiseksi on työnaikaisia olosuhteita ja eristysalustan ominaisuuksia koskevat vaatimukset esitetty *InfraRYL kohdassa 42310.2.1*. Eristysalustaa ja epoksitiivistystä koskevia vaatimuksia sovelletaan myös kannen korjattuihin kohtiin.

Tilaaajan luvalla edellisestä poiketen eristysalustaa ei tarvitse tiivistää, kun

- Silta sijaitsee vähäliikenteisellä tiellä ($KVL < 1500$ ajon./vrk) ja samanaikaisesti betonikannen rakennepaksaus on kauttaaltaan alle 400 mm.
- Kermieristuksen suojakerroksena käytetään *InfraRYL-kohdan 42310.1.2* mukaista suojabetonia. Tällöin kansilaatta pohjustetaan kumibitumiliuoksella.
- Käytetään nestemäisenä levitettävää vedeneristystä, jonka yhteydessä käytetään vain tuotekohtaista tiivistys- tai pohjustusainetta.
- Korjauskohteessa vanhassa tiivistämättömässä kansilaatassa ei ole esiintynyt pintarakenteiden kuplimista, eristysalusta on todettu vedeneristuksen poistamisen jälkeen kuivaksi eikä kansilaatta pääse kostumaan korjaustöiden aikana.
- Käytetään paineentasausrakenteella varustettua vedeneristystä, eikä tiivistyskäsittelyllä voida saavuttaa höyrytiiveyttä vanhan kansilaatan liiallisen kosteuden tai huonon kunnon takia. Tällöin alusta tiivistetään vain reunapalkkien vierustojen ja läpivientien osalta (ks H.11.3.1.2 ja H.11.3.2).

Tiivistyskäsittely parantaa eristeen ja alustan välistä tartuntavetolujuutta, mutta ei korjaa huonokuntoisen kannen sisäistä vetolujuutta. Ylimääräisten tiivistyskerrosten käytöllä ei myöskään saavuteta eristysalustan parempaa höyrytiiveyttä mikäli epoksiin jää reikiä, epoksi halkeilee tai irtoaa alustastaan liiallisen kosteuden takia. Suunnittelijan on arvioitava aina korjattavilla silloilla tiivistyskäsittelyn käyttökelpoisuus sekä sen edellyttämät alustan kunnostustoimenpiteet.

Epoksitiivistyksen käytöstä huolimatta kermieristetyillä silloilla esiintyy edelleen kermien kuplimista, mikä johtuu vesihöyryn vuotamisesta tiivistyskerroksen läpi eristeen alle. Vuodot ovat seurausta työvirheistä sekä epoksitiivistyksen läpimenevistä huokosista ja rei'istä sekä betonin mikrohalkeamista.

Betonikansissa tapahtuu muodonmuutoksia betonin kuivumiskutistuman, liikenteen kuormituksen ja lämpötilan vaihteluiden takia, jolloin kansilaatan betoniin voi syntyä halkeamia. Halkeamariski on erityisen suuri ohuiden kansilaattojen välitukien kohdilla eli pinnoilla, joilla betonin yläpinnan teräkset ovat vetorasituksen alaisina. Epoksi-tiivistyksellä ei ole halkeamia silloittavaa ominaisuutta, minkä takia eristys- ja pohjustusratkaisua tulee miettiä tapauskohtaisesti. Halkeamaherkillä silloilla harkitaan joko nestemäisenä levitettävän eristyksen valitsemista, paineentasausrakenteen käyttöä tai eristyksen suojaamista suojabetonilla.

H.11.4.2 Pohjustus kumibitumiliuossivellyllä

Kumibitumiliuoksen tulee täyttää *InfraRYL kohdan 42310.1.3* vaatimukset. Kumibitumiliuossivelyä (ainemenekki 0,2...0,3 kg/m²) käytetään kermieristyksen yhteydessä kohdan H.11.4.1 mukaisesti silloin, kun tiivistysepoksia ei käytetä, mutta eristysalusta tulee kuitenkin pohjustaa.

H.11.4.3 Pohjustus muulla tartunta-aineella

Eristysmateriaalin hyväksynnän yhteydessä on voitu hyväksyä jokin tuotekohtainen tartunta-aine, jota on käytettävä kyseisen eristysmateriaalin yhteydessä. Tätä ei tarvitse mainita erikseen suunnitelmassa. Esimerkiksi nestemäisenä levitettävän eristyksen kanssa tulee käyttää vain tuotekohtaista tiivistys- tai pohjustusainetta, jolloin työssä noudatetaan materiaalivalmistajan ohjetta ja tuotemääriä (g/m²).

H.11.5 Eristyksen suojakerroksen valinta

Pääperiaatteena on, että vedeneristys suojataan aina mekaaniselta kulutukselta. Poikkeuksen muodostavat mastiksilla eristettävät kevyenliikenteen sillat, joilla päällyste voidaan tehdä suoraan eristeen päälle ilman suojakerrosta. Eristyksen suojaustapa esitetään aina piirustuksessa. Eri eristeiden suojaustavat on esitetty *Taulukossa H.11Virhe. Viitteen lähde ei löytenyt..2*.

Suojaustavan lisäksi suunnitelmiin merkitään myös reunapalkin sisäreunojen ja kermitai mastiksieristyksen päälle tehtävä kaksinkertainen kumibitumisively *InfraRYL kohdan 42310.3.2.2* mukaisesti. Kumibitumisivelyt ulotetaan 250 mm leveydeltä eristeen päälle ja reunapalkin sisäreunassa päällysteen yläpinnan korkeudelle asti (ks. *Kuva H.11.1*).

Taulukko H.11.2 Eristyksen suojaustavat

Eristystyyppi	Kermirakenteen käyttöluokka	Eristyksen suojaus
Kaksikerroskermieristys	Käyttöluokka 1	AB 5 (20 mm), AA 5 (20 mm) tai suojabetoni
Kaksikerroskermieristys	Käyttöluokka 2	AB 5 (20 mm), AA 5 (20 mm) tai suojabetoni
Maatäyttöisen sillan kaksikerroskermieristys	Käyttöluokka 2	Suodatinkangas ja hiekka tai suojabetoni Rautatiesilloilla pelkästään suojabetoni
Mastiksieristys		AB 11 (25 mm)
Nestemäisenä levitettävä eristys		a) 1. päällystekerros VA/KBVA tai b) erillinen tartunta-aine ja/tai sirote asfalttikonin kanssa, jos Liikennevirasto on sen tuotteelle erikseen hyväksynyt
Muu eristys		Erillisen hyväksytyn suunnitelman mukaan

Kermieristysrakenteet jaetaan käyttöluokkiin 1 ja 2, jotka antavat vaatimukset lopulliselle vedeneristysrakenteelle. Käyttöluokat ja niiden selitykset on esitetty kohdassa H.11.8.3.

H.11.5.1 Suojakerroksena AB, AA tai valuasfaltti

Ajoneuvoliikenteen siltöjen kermieristys suojataan lähtökohtaisesti asfalttikonilla (AB 5). Avointa asfalttia (AA 5) käytetään tapauskohtaisesti asfalttikonin sijaan, kun eristeen suojakerrokselta vaaditaan erityistä vedenläpäisevyyttä. Kermieristeen suojakerroksena ei saa käyttää valuasfalttia.

Mastiksieristeen suojakerroksena käytetään asfalttikonin AB 11. Asfalttisuojakerroksen laatuvaatimukset on esitetty *InfraRYL-kohdassa 42320.1.1*.

Nestemäisenä levitettävä eriste tulee suojata tuotekohtaisesti hyväksytyllä suojakerroksella, joka on eristyksestä riippuen yleensä valuasfaltti, kumibitumivaluasfaltti tai eristeen päälle levitetyllä tartunta-aineella kiinnitetty asfalttikonin.

H.11.5.2 Suojabetoni

Suojabetoni on kermieristeen päälle valettava betonilaatta (50 mm), joka painollaan estää eristeen kuplimisen. Suojabetonoidun eristeen alla ei käytetä eristysalustan epoksitiivistystä. Suojabetonin laatuvaatimukset ovat Eurokoodin soveltamisohjeen Betonirakenteiden suunnittelu NCCI 2 mukaiset. Tiesilloilla suojabetonia käytetään silloin, kun kostealla kansilaatalla kermieristeen kuplimisriski on erityisen suuri, eikä eristysalustan tiivistyskäsittelyä pidetä riittävänä ratkaisuna kuplimisen estämiseksi.

Suojabetonin kestävyyden kannalta on tärkeää, että ylin päällystekerros on heikosti vettäläpäisevää. SMA:ta käytettäessä tulee tyhjätilavaatimus olla sama kuin vastavalla AB-päällysteellä.

Suojabetonin käyttö lisää pintarakenteen paksuutta, mikä tulee ottaa huomioon kannen reunapalkkien ja liikuntasaumalaitteiden korkeusaseman suunnittelussa. Lisäksi on huomioitava betonimassan vaatiman kovettumisajan vaikutus rakentamistyön aikatauluun.

Rautatiesilloilla kermi- tai nestemäisenä levitettävän eristyksen ensisijainen suojaus-tapa on suojabetoni. Muu suojausrakenne tulee kysymykseen vain korjauskohteissa ja ainoastaan tilaajan hyväksynnällä. Tällöin mahdollinen suojarakenne on kaksinker-tainen kumirouhematto.

H.11.5.3 Suojahiekka

Suojahiekkaa (>20 mm) käytetään maatäyttöisten ajoneuvoliikenteen siltöjen kermieristeen suojakerroksena. Kermin päälle tulee asentaa N4-luokan suodatinkangas ennen suojahiekan levittämistä.

Rautatiesilloilla suojahiekkaa ei käytetä.

H.11.5.4 Kaksinkertainen kumirouhematto

Jos rautatiesillan kermieristeen päällä ei voida käyttää suojabetonia, levitetään pinta-kermin päälle kaksinkertainen kumirouhematto (11+11 mm).

Rakennetta voidaan käyttää uusilla rautatiesilloilla vain, jos sääolosuhteet suojabe-tonin tekemiseksi ovat epäedulliset tai työtila on liian ahdas hyvän suojabetonin valu-tuksen aikaansaamiseksi.

H.11.5.5 Eristämätön kansi

Betonikantinen silta voidaan jättää tilaajan esityksestä eristämättä. Tällöin kannen ylin betonikerros valetaan tiiviistä ja halkeamattomasta (teräskuitu-) betonista. Eris-tämättömällä kannella pintavedet tulee johtaa tehokkaasti pois eikä sillalla tule olla reunapalkkeja tai muita reunakiviä. Mikäli sillalla on vettä patoavia reunoja, tulee nämä kohdat suojata vedeltä erillisillä rakenteilla..

H.11.6 Ajoneuvoliikenteen sillan päällyste ja sen saumat

Päällyste valitaan yhteistyössä tiesuunnittelijan kanssa. Päällysteen valintaan vaikut-taa myös se, tehdäänkö sillan päällyste tien päällystämisen yhteydessä. Tällöin sillan päällyste valitaan tavallisesti samaksi kuin tiellä.

H.11.6.1 Päällysteen valinta

Liikenneturvallisuuden kannalta voi olla edullista valita päällysterakenteen kulutus-kerrokseksi sama päällyste kuin mitä tieosuudella on. Mikäli sillan pintarakenteen vesitiiveyttä halutaan parantaa, valitaan kulutuskerrokseksi tiivis päällyste, kuten kumibitumivaluasfaltti (KBVA). Tiiviimpi päällysterakenne saadaan myös sijoittamal-la tiivis asfaltti päällysterakenteen välikerrokseen. Siltapäällysteen tulee lisäksi olla ajo-ominaisuuksiltaan vähintään yhtä hyvä kuin tiepäällyste sillan molemmin puolin.

Asfalttibetoni- (AB) ja kumibitumivaluasfalttipäällyste (KBVA) sekä kivimastiksiasfaltti (SMA) soveltuvat kaikille silloille. Päällysteen yhteensopivuus eristeen ja sen suojakerroksen kanssa on varmistettava.

Päällystekerrokset valitaan tämän ohjeen ja *InfraRYL kohdan 42330* mukaisesti. Suunnitelman laatuvaatimuksiin merkitään aina myös eristykseen tai suojakerroksen päälle tulevan jokaisen asfalttikerroksen määräävä minimipaksuus. Tyypillisimmät päällysterakenteet on esitetty kohdassa H.11.8.1.

H.11.6.2 Päällysteen saumat

Päällysteen saumat ja saumausmassa esitetään aina suunnitelmassa.

Asfaltti- ja valuasfalttipäällysteen saumoja ovat:

- päällysteen kulutuskerroksen saumat (saumapinnat: asfaltti - asfaltti tai valuasfaltti - valuasfaltti)
- päällysteen ja reunapalkin välinen sauma (saumapinnat: päällyste – kumibitumi)
- päällysteen ja liikuntasaumalaitteen tukikaistan välinen sauma (saumapinnat: päällyste - kumibitumi)
- päällysteen ja jalkakäytäväkorokkeen välinen sauma (saumapinnat: päällyste - betoni tai kivi)
- päällysteen ja teräsosien väliset saumat (saumapinnat: päällyste – teräs)

Betonipäällysteen saumoja ovat:

- betonipäällysteen saumat (saumapinnat: betoni - betoni)
- betonipäällysteen ja reunapalkin sisäreunan välinen sauma (saumapinnat: betoni - kumibitumi)

Kaikilla päällystetyypeillä tehdään sauma kannen ja penkereen väliin kohdan H.11.6.2.2. mukaisesti. Valuasfalttipäällysteillä tehdään edellä mainitun lisäksi sauma sillan poikkisuunnassa tukien kohdille ja n. 5 m etäisyydelle tuen molemmin puolin sekä sen jälkeen n. 15 m välein.

Kumiasfaltti- ja kumivaluasfalttipäällysteillä tehdään saumat vain sillan reunoille, paitsi teräskantisilla tai puukantisilla silloilla, joissa tehdään myös poikkisaumat n. 20 m välein.

Betonipäällysteellä saumat tehdään sillan reunoille. Muita saumoja ei tehdä, jos massana on teräskuitubetoni. Muulloin sauma tehdään myös sillan keskelle ja n. 5 m välein sillan poikkisuunnassa.

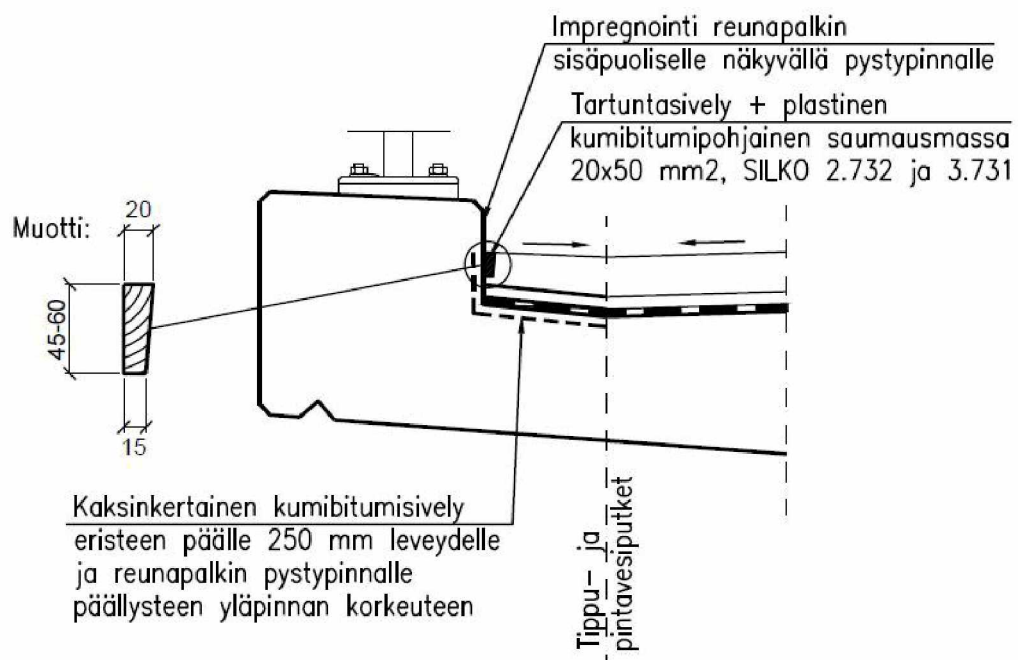
Suojabetonin ja betonipäällysteen rasitusluokat ovat julkaisun Eurokoodin soveltamisohje Betonirakenteiden suunnittelu NCCI 2 Taulukon 4.1 reunapalkkien (Ro22) mukaisia. Lisäksi on laatuvaatimuksissa edellytettävä, että betoni täyttää julkaisun Siltabetonien P-lukumenettely vähimmäisementtimäärää ja vesi-sementtisuhteen enimmäisarvoa koskevat vaatimukset.

H.11.6.2.1 Reunapalkin ja asfaltin välinen sauma

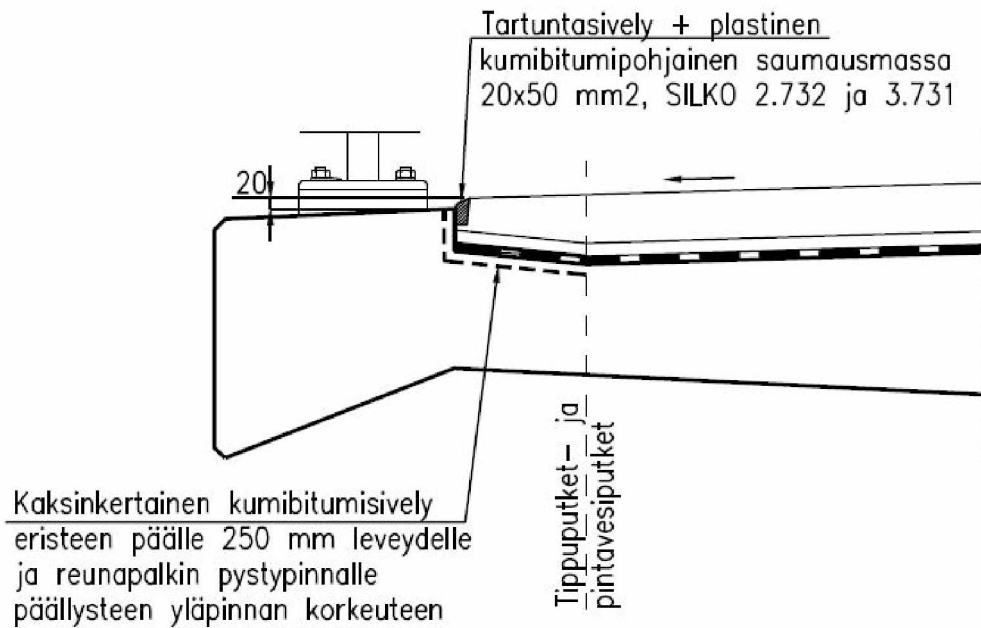
Siltaa päällystettäessä sauman ura tehdään ensisijaisesti rimalla tai leikkaamalla. Päällyste ei saa ulottua reunapalkin päälle.

Sauman leveyden ja korkeuden suhde on noin 1:2,5 (Kuva H.11.1), mutta mitoitus on tarkistettava tuotekohtaisesta ohjeesta.

Koska päällysteen reuna tulee hieman matalaa reunapalkkia korkeammalle, päällysteen särmää on pyrittävä viistämään, jotta se ei murru. Saumaus ei ilman erityistoimia tue päällysteen reunaa, vaan jää alempana olevan betonipinnan tasoon.



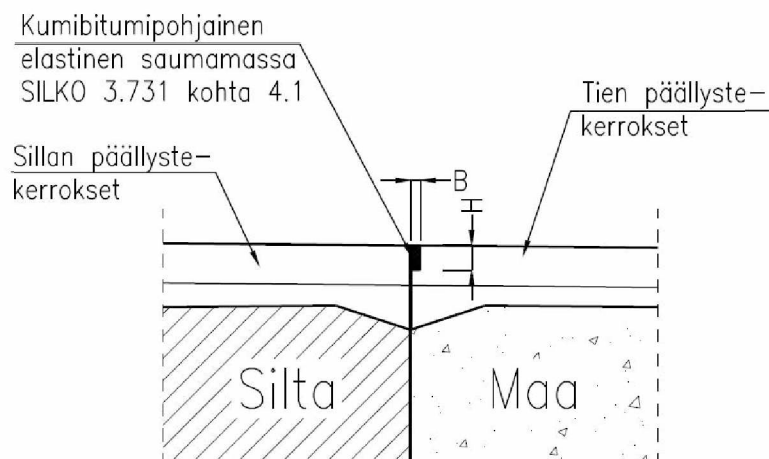
Kuva H.11.1 Korkean reunapalkin ja päällysteen sauma sekä sauman muotti



Kuva H.11.2 Matalan reunapalkin ja päällysteen sauma

H.11.6.2.2 Päällysteen ja penkereen välinen sauma

Mikäli sillassa ei ole liikuntasaumalaitetta, siltakannen ja penkereen väliin tehdään Kuvan H.11.3 mukainen sauma tai erillisen suunnitelman mukainen massaliikuntasäuma.



Liikuntapituus [m]	B [mm]	H [mm]
$L \leq 30$	50	≥ 80
$L \leq 18$	30	≥ 50
$L \leq 6$	20	≥ 40

Kuva H.11.3 Sillan ja penkereen välinen sauma päällysteessä.

H.11.7 Vaihtoehtoisen rakenneratkaisun esittäminen ja hyväksyminen rakennusvaiheessa

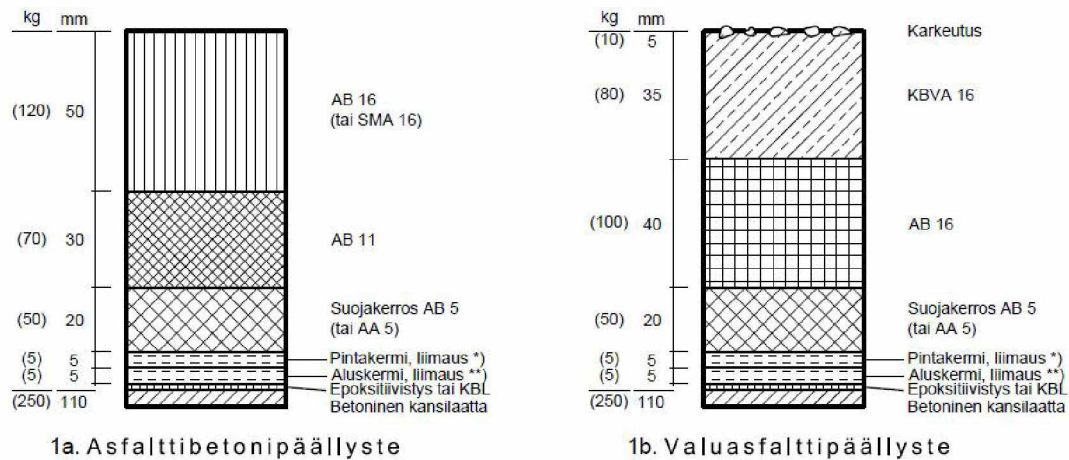
Jos urakoitsija esittää tarjouksessaan tai työn kuluessa suunnitelmassa esitetyn eristysratkaisun tilalle jotain muuta ratkaisua, on esitys käsiteltävä suunnitelman muutoksena ja asiassa meneteltävä kuten urakka-asiakirjoissa on määrätty muutostöistä. Jos urakoitsija esittää ST-suunnitelmassa tästä ohjeesta poikkeavia rakenneratkaisuja, on ratkaisuille saatava ensin tilaajan hyväksyntä.

H.11.8 Täydentävä aineisto

Pintarakenteiden poikkileikkauksissa esitetyt rakennekerrosten paksuudet (mm) ovat määrääviä mittoja. Niiden neliökuormat on tarkoitettu suunnittelijalle vain suuntaa-antavaksi tiedoksi.

Siltojen pintarakenteiden poikkileikkauksissa merkintä "Epoksitiivistys tai KBL" ei tarkoita, että menetelmät ovat vaihtoehtoisia, vaan suunnittelijan tulee aina valita suunniteltavaan kohteeseen soveltuvin pohjakäsittely.

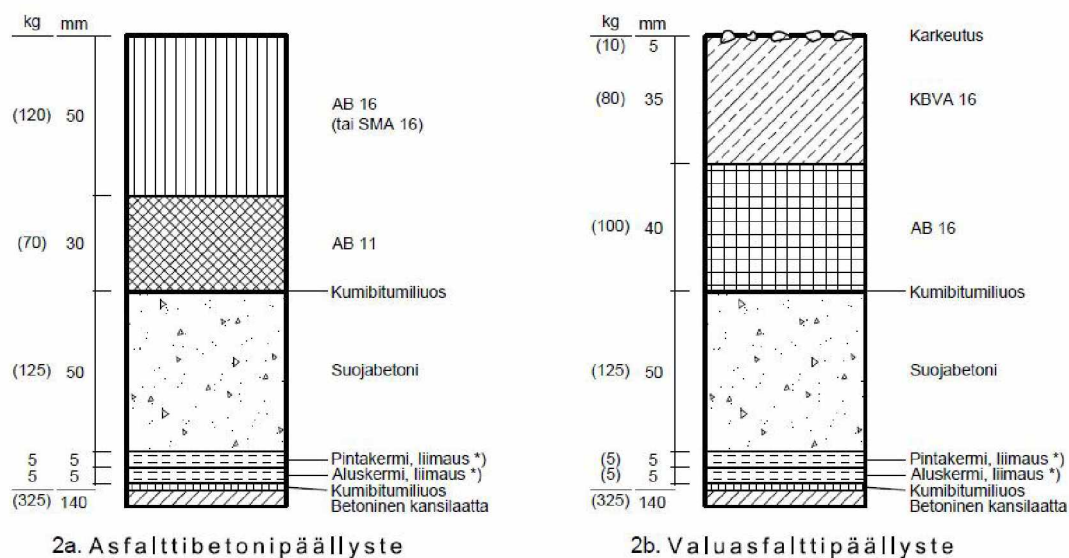
H.11.8.1 Tie- ja rautatiesiltöjen yleisimmät pintarakenteet



*) tai kuumentamalla kiinnitettävä

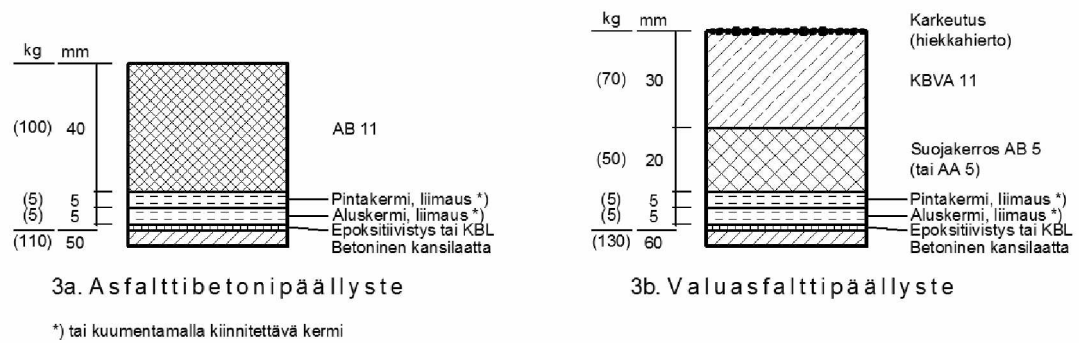
**) tai kuumentamalla kiinnitettävä tai paineentasauskermi (jos suunnitelmassa on niin esitetty)

Kuva H.11.4.1 Betonikantisen sillan ajorata. Kermieristeinen pintarakenne.

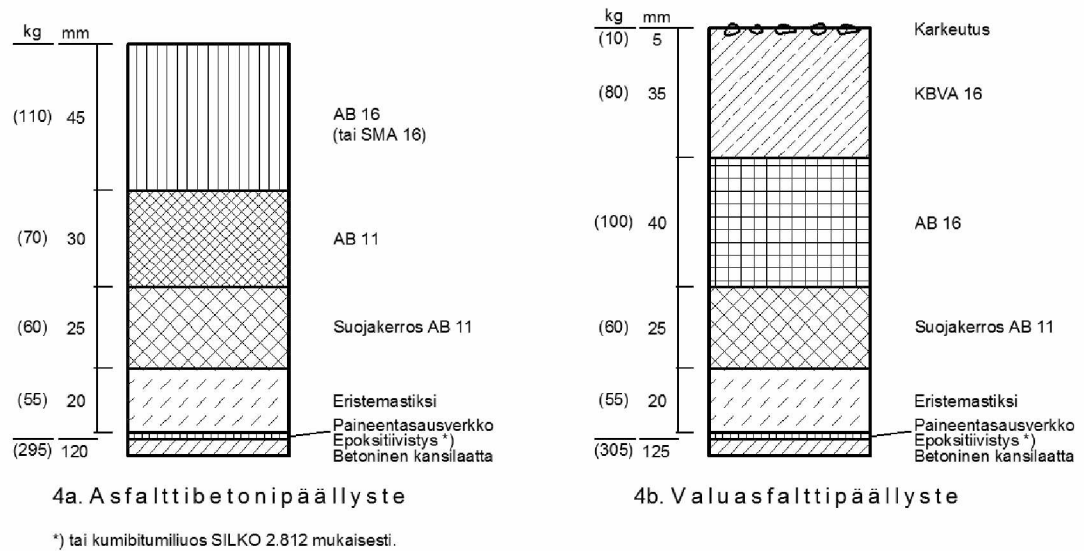


*) tai kuumentamalla kiinnitettävä kermi

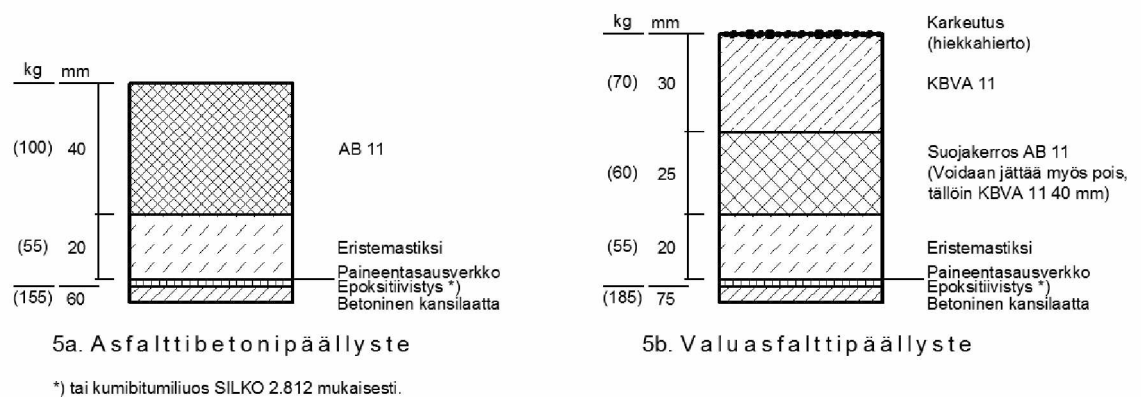
Kuva H.11.4.2 Betonikantisen sillan ajorata. Kermieristeinen pintarakenne.



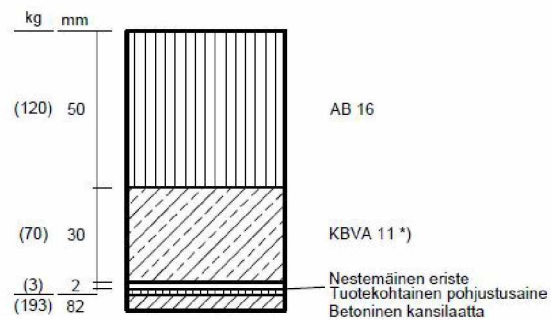
Kuva H.11.4.3 Kevyenliikenteen betonikantinen silta. Kermieristeinen pintarakenne.



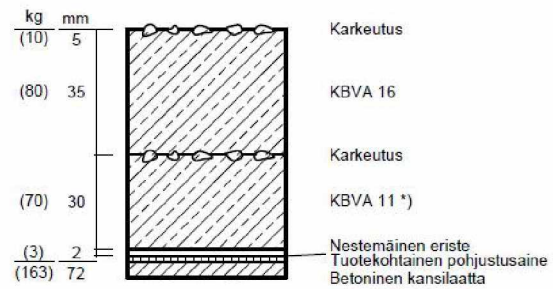
Kuva H.11.4.4 Betonikantisen sillan ajorata. Mastiksieristeinen pintarakenne.



Kuva H.11.4.5 Kevyenliikenteen betonikantinen silta. Mastiksieristeinen pintarakenne.



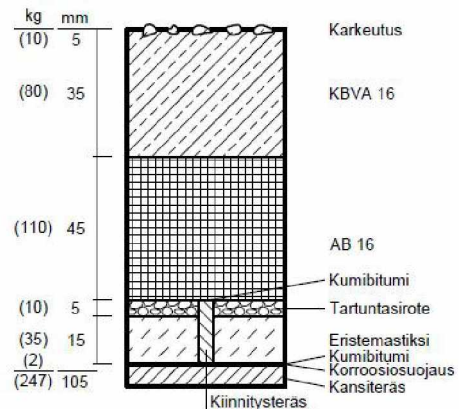
6a. Asfalttibetonipäällyste



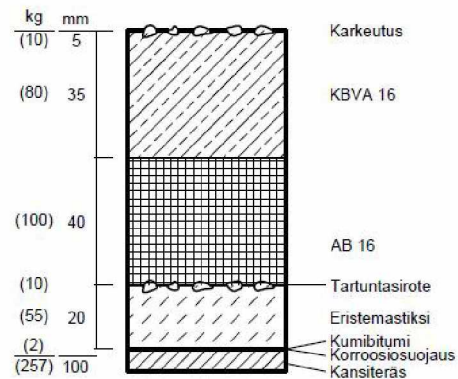
6b. Valu-asfalttipäällyste

*) voidaan korvata päällystekerroksella AB 11, mikäli eristeen pintaan levitetään tuotekohtaisesti hyväksytty tartute- tai liima-aine

Kuva H.11.4.6 Betonikantisen sillan ajorata. Nestemäisenä levitettävä eristys.

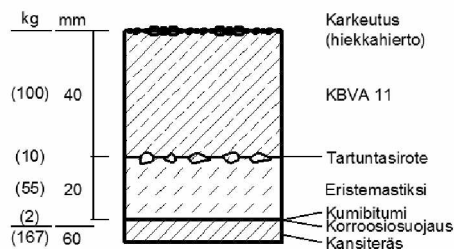


7a. Kiinnitysteräkset kannessa



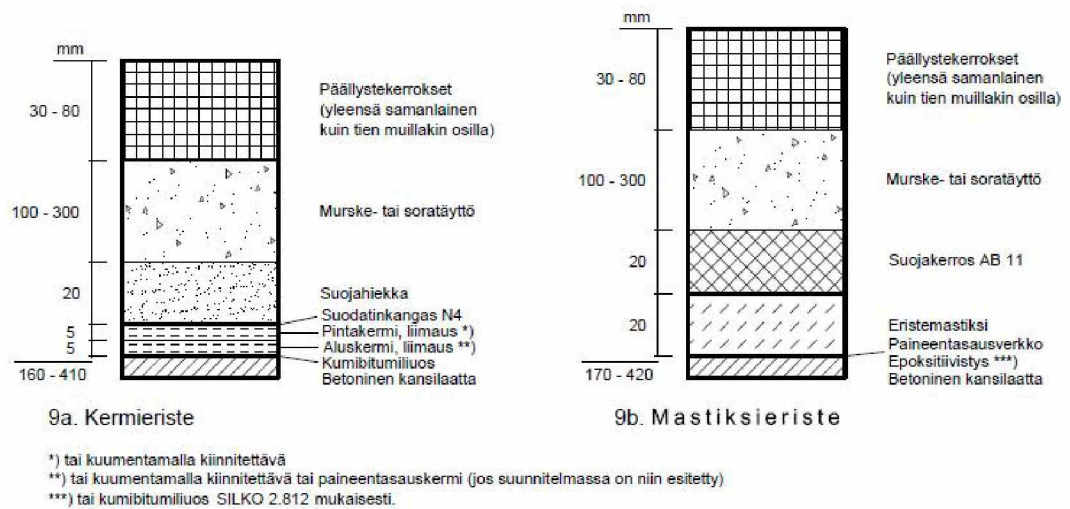
7b. Ei kiinnitysteräksiä kannessa

Kuva H.11.4.7 Teräskantisen sillan ajorata.

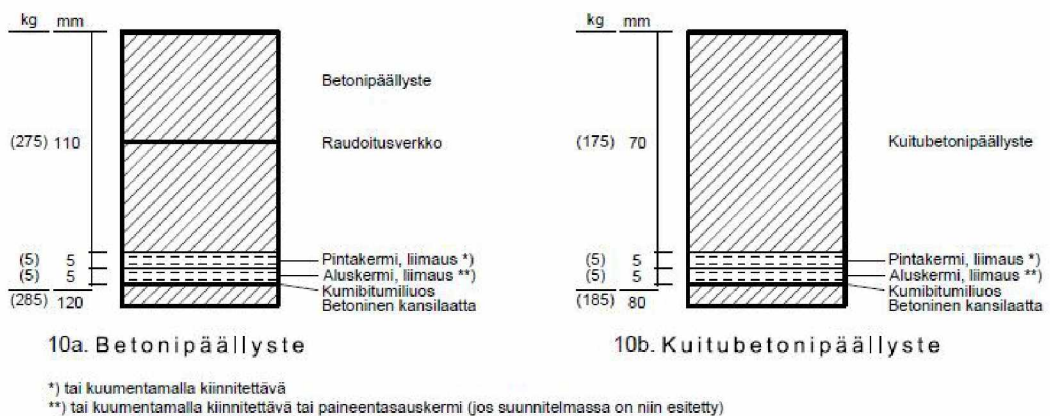


8. Mastiksieriste

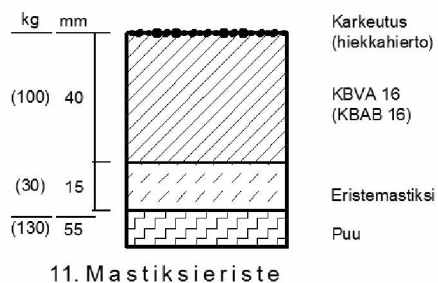
Kuva H.11.4.8 Teräskantisen kevyen liikenteen sillan pintarakenne ilman kiinnitysteräksiä.



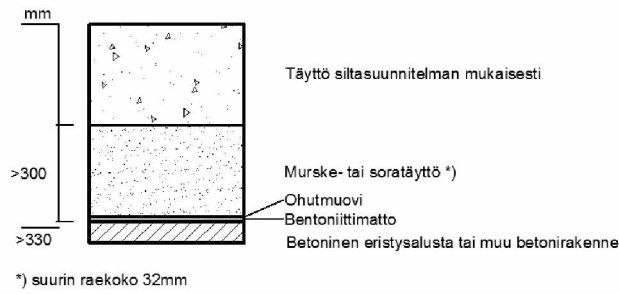
Kuva H.11.4.9 Murske- tai soratäyttöisen sillan ajoradan pintarakenne.



Kuva H.11.4.10 Betonipäällysteisen sillan ajorata. Kermieristeinen pintarakenne.

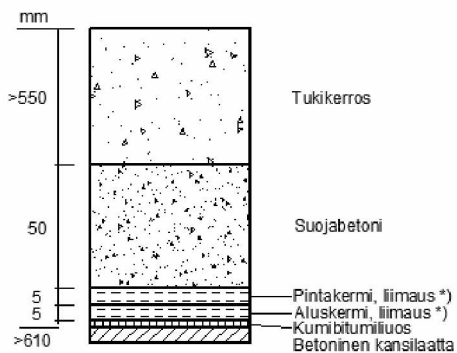


Kuva H.11.4.11 Puukantisen sillan ajorata.



12. Bentoniittimattosuojaus

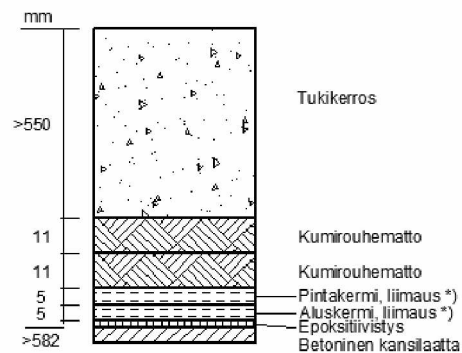
Kuva H.11.4.12 Maakantisen holvisillan bentoniittimattosuojaus.



13a. Suojabetonoitu pintarakenne

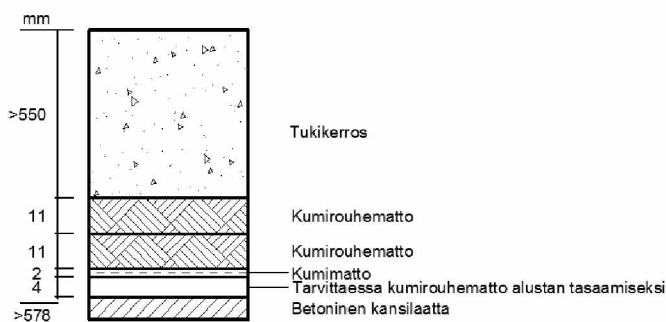
*) tai kuumentamalla kiinnitettävä kermi

**) Käyttö ainoastaan tilaajan hyväksynnällä



13b. Kumirouhelevylinen pintarakenne **

Kuva H.11.4.13 Betonikantisen rautatiesillan kermieristeinen pintarakenne.



14. Kumimattoeristys (käyttö ainoastaan tilaajan hyväksynnällä)

Kuva H.11.4.14 Betonikantisen rautatiesillan kumimattoeristeinen pintarakenne

H.11.8.2 Rautatiesillan pintarakenteet

Rautatiesillan kannen yläpinta ja poikkeustapauksissa vain suojabetoni kallistetaan niin, että saadaan aikaiseksi vähintään 1 % piteuskaltevuus pintavesiputkea tai sillan päätyä kohti. Kaltevuus 0,5 % riittää, kun yläpinta muotoillaan niin, että vesi kulkee jiriä pitkin.

Kermieristys (InfraRYL 42310.3.2.2)

- Kumibitumiliuos pohjustus (tai epoksi tiivistys, mikäli suojabetonia ei voida käyttää)
- Kaksikerros kermieristys käyttöluokan 2 mukaisilla kermieristysrakenteilla
- Suojabetoni 50 mm (tai kaksinkertainen kumirouhematto ristiin ladottuna, mikäli suojabetonia ei voida käyttää)
- Tukikerros

Mastiksieristys (InfraRYL 42310.3.2.3)

- Paineentasaussverkko (kansi varustetaan tällöin myös paineentasaussputkistolla)
- Kumibitumiliuos pohjustus SILKO 2.821 mukaisesti.
- Mastiksieristys
- Kaksinkertainen kumirouhematto ristiin ladottuna
- Tukikerros

Rautatiesilloilla mastiksieristystä voidaan käyttää tapauksissa, jossa lyhyempi käyttöikä vaatimus on perusteltua. Muuten pyritään valitsemaan eristysratkaisu, jonka korjausväli on mahdollisimman pitkä.

Nestemäisenä levitettävä eristys (InfraRYL 42310.3.2.4)

- Tuotekohtainen tiivistysaine tai pohjuste kahdessa kerroksessa
- Nestemäisenä levitettävä vedeneriste
- Suojabetoni 50 mm (tai kaksinkertainen kumirouhematto ristiin ladottuna, mikäli suojabetonia ei voida käyttää)
- Tukikerros

Kumimattoeristys, ainoastaan nopeissa korjauskohteissa (InfraRYL 42310.3.2.5.1)

- Kumirouhematto 4 mm
- Kumimatto 2 mm
- Kumirouhematto 11+11 mm ristiin ladottuna
- Tukikerros

H.11.8.3 Kermien käyttötilan mukainen luokittelu

A. Ajoneuvoliikenteen sillat

KÄYTTÖLUOKKA 1.

(Kermieristysrakenne luokan 1 laatuvaatimukset täyttävä)

Sillat joiden ajoneuvoliikenne > 3000 autoa/vrk:

- Kaksikerroskermieristys suojakerroksella.
- Suojakerroksena
 - AB 6/50 tai
 - AA 5/50 tai
 - suojabetoni 50 mm.

Maatäyttöiset sillat:

- Kaksikerroskermieristys suojakerroksella käyttöluokan 2 mukaisilla kermieristysrakenteilla.
- Suojakerroksena
 - suodatinkangas ja hiekka tai
 - suojabetoni

KÄYTTÖLUOKKA 2

(Kermieristysrakenne vähintään luokan 2 laatuvaatimukset täyttävä)

Muut sillat joiden ajoneuvoliikenne < 3000 autoa/vrk:

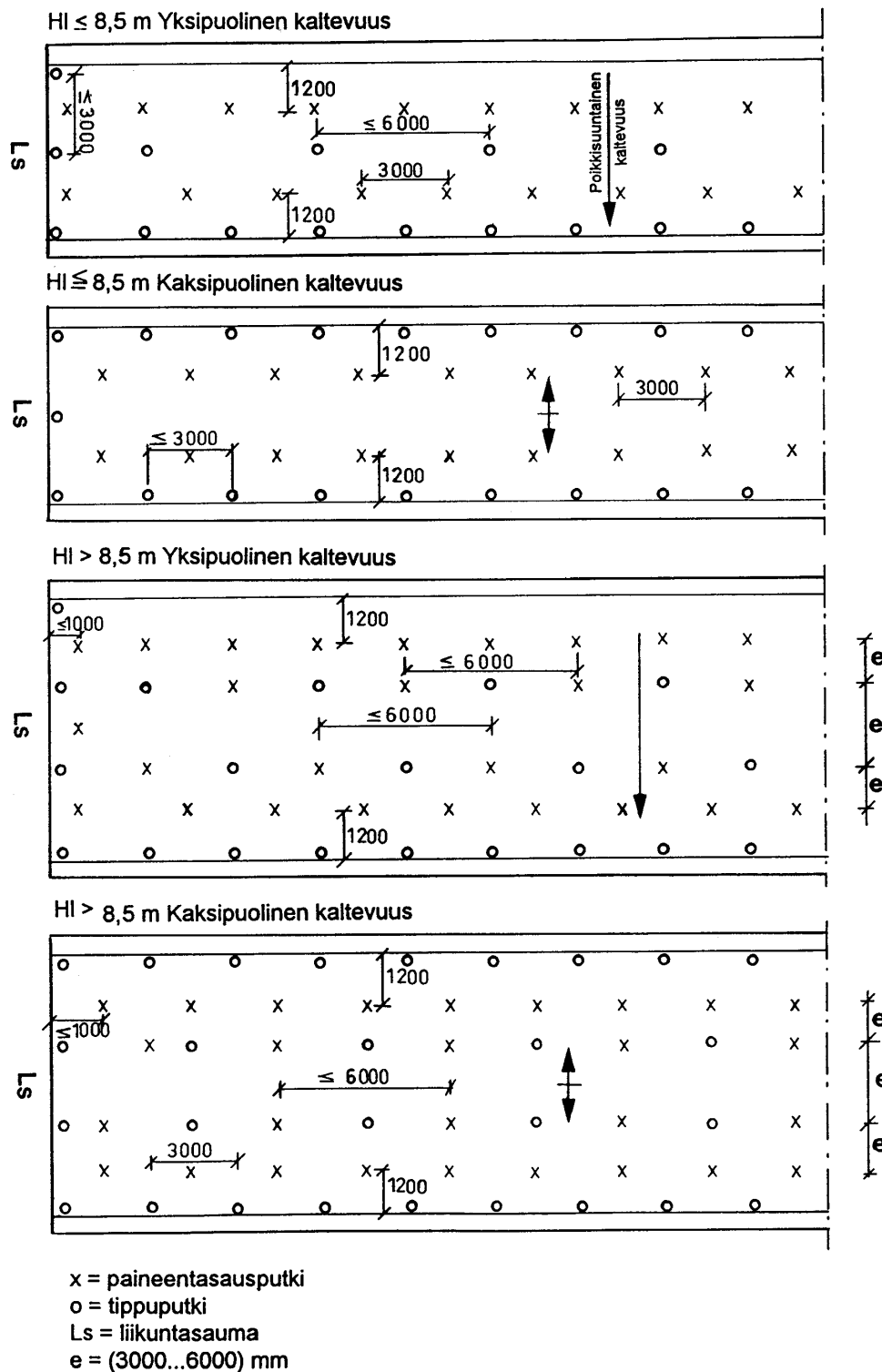
- Kaksikerroskermieristys suojakerroksella.
- Suojakerroksena
 - asfalttibetoni AB 5/50 tai AA 5/50 tai
 - suojabetoni tai
 - ei suojakerrosta (kevyen liikenteen sillat)

Maatäyttöiset sillat:

- Kaksikerroskermieristys suojakerroksella.
- Suojakerroksena
 - suodatinkangas ja hiekka tai
 - suojabetoni

H.11.8.4 Paineentasaus- ja tippuputkien sijoitus, kermieristys

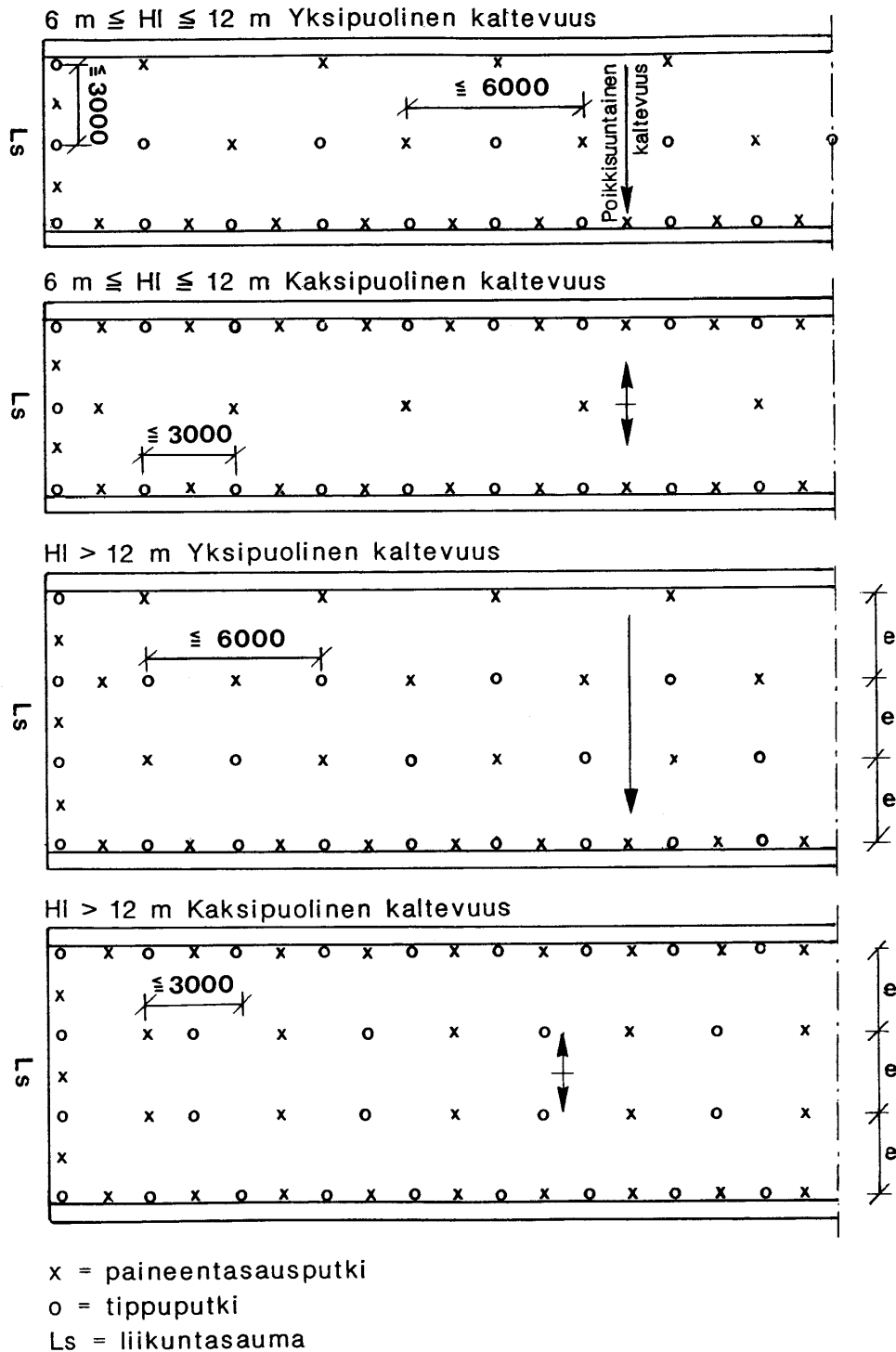
Kermi- ja nestemäisenä levitettävän eristuksen tippuputket sijoitellaan alapuolisten kuvien mukaisesti. Lisäksi tippuputkilinjat tulee varustaa R15/DS4 mukaisella putkisolajilla.



Kuva H.11.5 Paineentasaus- ja tippuputkien sijoittelu, kermieristys.

H.11.8.5 Paineentasaus- ja tippuputkien sijoitus, mastiksieristys

Mastiksieristysten tippu- ja paineentasausputket sijoitellaan alapuolisten kuvien mukaisesti.



Kuva H.11.6 Paineentasaus- ja tippuputkien sijoittelu, mastiksieristys.

H.12 Muut lisäohjeet

H.12.1 Yleistä

Jos sillan päällysrakenne tukeutuu vapaasti seisoviin yksittäisiin suurpaaluihin tai suurpaalun jatkeena oleviin pilareihin, joiden sivuttaisvakavuus on ympäröivän maan sivuvastuksen varassa, on suurpaalut tai pilarit tuettava kansirakenteeseen vaakasuuntaan jäykällä kiinnityksellä, kiinteällä laakerilla tai liikerajaajalla.

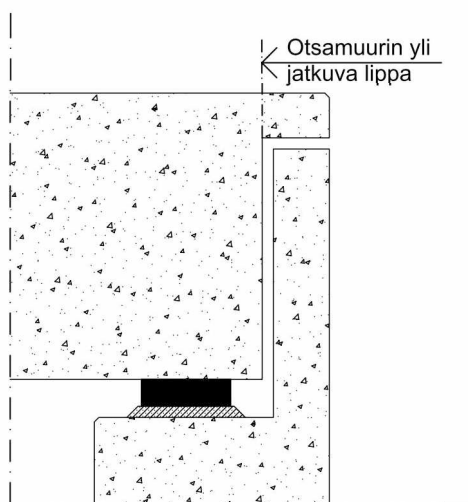
Pohjaveden pinnan tasossa oleva jäätnyt maa voi estää tukien vaakaliikkeen. Rakennne on tällöin mitoitettava myös vaakaliikkeen estäville kuormille. Samoin mitoitetaan myös vesistösiltojen välituet.

Suurehkoista sijainti- ja kaltevuuspoikkeamariskeistä johtuen ei teräspuikipaaluja saa suunnitella suoraan päällysrakenteeseen liittyväksi, mikäli paalu on jäämässä näkyviin. Samaisista syistä paalua ei tule suunnitella mantteloitavaksi ohuin betoni-kuorin näkyviltä osiltaan. Rajaus ei koske porapaaluja, joiden mittapoikkeamavaati-mukset ovat vähintään Paalutusohjeen 2011 (RIL 254-2-2011) kohdan 4.4.4 mukaiset. Mikäli toteutuneiden mittapoikkeamien seurauksena paalun betonimantteli on jää-mässä jostain kohtaa alle 100 mm paksuksi, katkaistaan paalu ja yhdistetään se nä-kyviltä osiltaan betonipilarilla päällysrakenteeseen.

Sovellettaessa tyyppisiltojen suunnitelmia vinopäisiin siltoihin on aina varmistettava, että alusrakenne pystyy ottamaan päällysrakenteen päädyn ja penkereen vuorovaiku-tuksesta syntyvät voimat.

Siipimuurien alareuna sijoitetaan vähintään 0,5 m alemmaksi kuin maanpinta luis-kassa kyseisellä kohdalla.

Maatuen otsamuurin ylle jatkuvia päällysrakenteen lippoja (ks. kuva H.12.1) ei sallita pitkäaikaiskestävyyden vuoksi.



Kuva H.12.1

Maatuen otsamuurin yli jatkuva lippa

Sillan rakennusvuosi esitetään vesistö- ja risteys-silloissa kaiteeseen kiinnitettävällä metallisella vuosilaatalla. Ohjeita sijoituksesta siltaan on tyyppipiirustuksessa R15/DM 4-13.

Siltöjen maatukien etuluiskiin rakennetaan vähintään 0,5 m levyiset huoltotasanteet ja vesistö-siltöihin 0,5 m levyiset jätkänpolut. Korkeissa penkereissä harkitaan erikseen välitasanteiden rakentamista.

Teräksisillä palkkisilloilla käytetään nousuesteitä estämään palkin alalaipan päälle nousemisen.

H.12.2 Rautatiealue

Rautatiealueelle rakennettaville pysyville tai tilapäisille rakenteille (sillat, tukimuurit, telineet ja työnaikaiset rakenteet) laaditaan maadoitussuunnitelma, jonka Liikennevirasto tai tämän valtuuttama organisaatio hyväksyy.

Sähköistetyin radan ylittävien tai sen lähellä sijaitsevien siltöjen tai muiden rakenteiden reunoihin suunnitellaan kosketussuojaseinämät tai -lipat.

H.12.3 Siltöjen päätyulokkeet

Ulokesiltöja, joissa ulokkeen pituus on > 2,5 m, ei sallita tieliikenteen ja rautatieliikenteen silloilla. Ulokkeen pituudeksi otetaan tien/raiteen keskilinjan suuntainen mita tuelta sillan päätyyn (siirtymäläatan sillan puoleiseen reunaan). Kevyen liikenteen silloilla voidaan käyttää enintään 4 m uloketta. Tässä kohdassa mainituista ulokkeiden enimmäispituuksista voidaan poiketa hankekohtaisesti niin sovittaessa.

Tiesilloissa ulokesiltöjen päädyn taipuma (kokonaisliike) suunnittelukuormasta rajoitetaan arvoon ± 10 mm.

Rautatiesilloilla ulokkeen taipumaraja määräytyy kohdan B.6.8 matkustusmukavuuskriteerien mukaisesti. Jännemittana voidaan käyttää mittaa päätytuelta siirtymäläatan loppupään teoreettiseen tukipisteeseen kohdan B.4.8 mukaisesti.

Ulokkeen tulee kestää myös liikennekuorma otaksumalla, että ulokkeen pääty tukeutuu penkereeseen.

H.12.4 Sillan kuivatus

Sillan kuivatuslaitteet suunnitellaan Siltöjen korjausohjeen (SILKO 1.601) mukaan.

Ellei hankekohtaisesti muuta sovita, suunnitellaan sillan päiden kuivatus tiesilloissa siten, että hulevedet kootaan pintavesikaivoon, josta vesi johdetaan umpiputkessa sivuojaan. Suojattavilla pohjavesialueilla tai muilla vastaavasti suojeltavilla alueilla on hulevesien käsittely suunniteltava suojelutarve huomioonottaen SILKO 1.601 mukaisesti.

Maatukien laakeritasoille kertyvät vedet kerätään kouruun laakeritason takareunaan ja johdetaan putkella maatuen eteen tai sivulle siten, että putki päättyy luiskan yläpuolella. Putken halkaisija on ≥ 50 mm.

Mattosalaojia ei käytetä sillan pintarakenteen salaojituksessa ajoratojen kohdalla.

Hulevesi- ja tippuputket on sijoitettava alla sijaitsevan ajoradan ulkopuolelle. Rautatien ylittävissä silloissa hulevesi- ja tippuputket on varustettava ulosheittäjillä, joiden etäisyys on paluu- ja vastajohtimista vähintään 600 mm, kun pylväsväli on 65 m, ja 900 mm, kun pylväsväli on 90 m.

H.12.5 Varausputket

Silloissa varaudutaan putkien ja kaapeleiden vientiin. Rautatiesilloissa kaapeleiden vientiä varten on sillan reunoille asennettava normaalipiirustuksen (RHK Tekniset toimitusehdot 1041/731/99 Kanavaelementit ja kansielementit) mukaiset 2 m:n tai 6 m:n mittaiset tb-kaapelikanavaelementit varustettuna tb-kansilla. Sillan yleispiirustuksessa ja tarvittaessa mittapiirustuksissa on esitettävä kaapelikanavaelementtien sijoittaminen sillan poikki- ja pituussuunnassa, elementtien pituudet sekä "sukeltaminen" tukikerroksen sisään sillan päissä.

Betonin kanssa kosketuksiin joutuvat varausputket eivät saa olla alumiinia. Myöhemmin mahdollisesti suoritettavaa kaapelointia varten varaudutaan seuraavasti, ellei hankekohtaisesti ole tietoa suuremmasta määrästä:

Massiivisiin betonikansiin sijoitetaan kaksi varausputkea läpimitaltaan 110 mm, yksi kannen kummallekin reunalle.

Betonisiin laattapalkki- ja kotelopalkkisiltoihin sekä betonikantisiin teräspalkkisiltoihin sijoitetaan kaksi läpimitaltaan 110 mm varausputkea sillan päihin. Päälysrakenteen osalle vastaaville kohdille sijoitetaan sisäkierrtartunnat tarvittavin välein siten, että kaapelihylly voidaan niihin kiinnittää. Myös poikkipalkkeissa ja muissa rakenneosissa varaudutaan kaapelihyllyn rakentamiseen.

Kaksi- tai useampipalkkisissa silloissa kaapelit sijoitetaan aina kaapelihyllylle palkkien väliin.

Varausputket on sijoitettava sillan päissä lähtökohtaisesti siirtymälaatan alapuolelle ja putket johdetaan sähkökaivoon piir. R15/DV-4 mukaisesti.

H.12.6 Siirtymälaatat

Kevyen liikenteen silloissa ja yksityisteiden silloissa voidaan käyttää 3m pitkää siirtymälaattaa. Muissa silloissa siirtymälaatan pituus on 5m. Siirtymälaatan päälle varataan tilaa tierakenteen sitomattomille ja sidotuille kerroksille sekä päällysteelle. Päälysrakenneluokassa 1 näiden paksuus on 400 mm käytettäessä sitomatonta kantavaa kerrosta ja 600 mm käytettäessä sidottua kantavaa kerrosta (esim. maabetonia). Päälysrakenneluokassa 3 vähimmäiskerros paksuus siirtymälaatan päällä on 300 mm. Siirtymälaatan pinnan etäisyys tien pinnasta saa olla enintään 700 mm.

Rautatiesilloilla siirtymälaatan pituus on 5 m. Vanhoilla silloilla voidaan tapauskohtaisin perustein käyttää lyhyempää siirtymälaattaa erityisesti silloin, kun halutaan rajoittaa sillalle aiheutuvia lisäkuormituksia.

Rautatiesillan 5 m:n siirtymälaatan normaalipiirustuksen numero on 4032 RSN 8137-1. Paikallavalettua siirtymälaattaa käytetään aina, kun se on rakentamisaikataulun kannalta mahdollista. Muutoin käytetään elementtirakenteista siirtymälaattaa.

H.12.7 Rautateiden varikkojen ja purkukuoppien kuormat

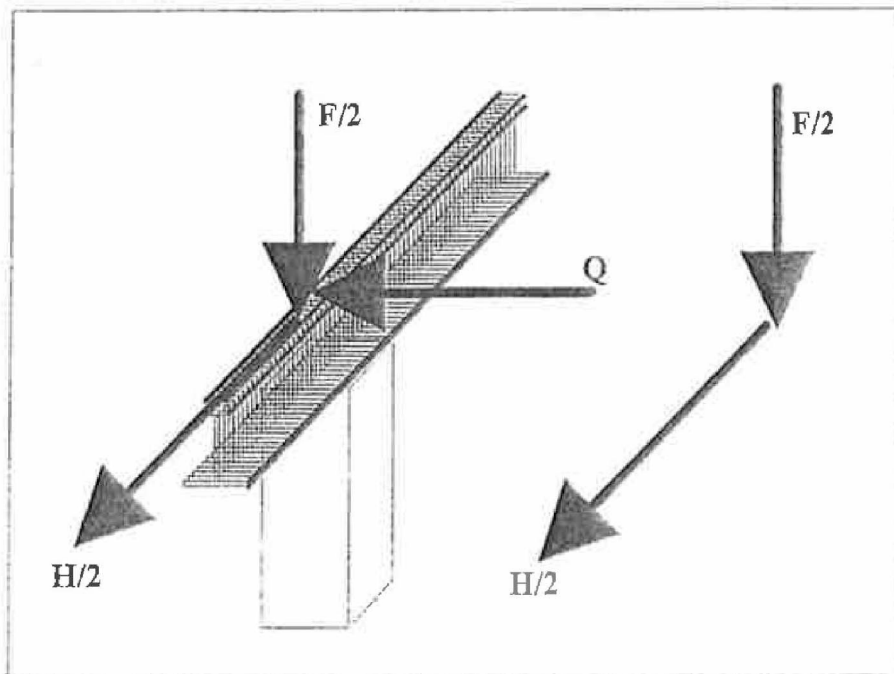
Varikoilla ja purkupaikoilla oletetaan kaluston nopeudeksi 20 km/h ja raide suoraksi. Rakenteet mitoitetaan akselikuormalle, jonka staattinen arvo on $F = 250 \text{ kN}$ ja dynaaminen suurennuskerroin on 1,2.

Sivusysäys toisen kiskon selkään on $Q = 0,125 \cdot F = 32 \text{ kN}$.

Hitauskuorma kiskon selkää pitkin raidetta kohden on $H = 0,15 \cdot F = 38 \text{ kN}$ kuvan H.12.2 mukaisesti. Uudella kiskolla, jossa ei ole vapaasti riippuvia hitsaus- eikä sidekiskojoitoksia, voidaan käyttää taulukon H.12.1 jännemittoja.

Taulukko H.12.1 Jännemitat

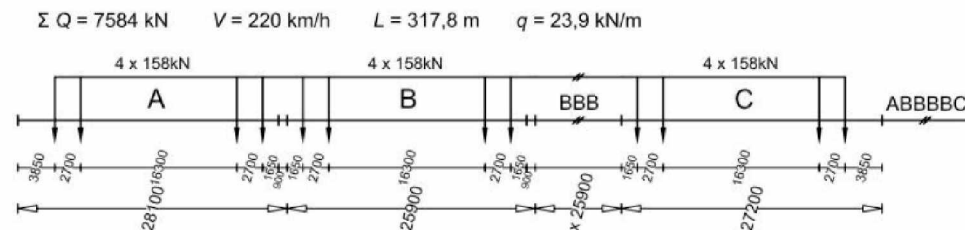
Kisko	54 E1	60 E1
Pilariväli L (m)	1,6	1,8



Kuva H.12.2 Varikkojen ja purkukuoppien kuormat

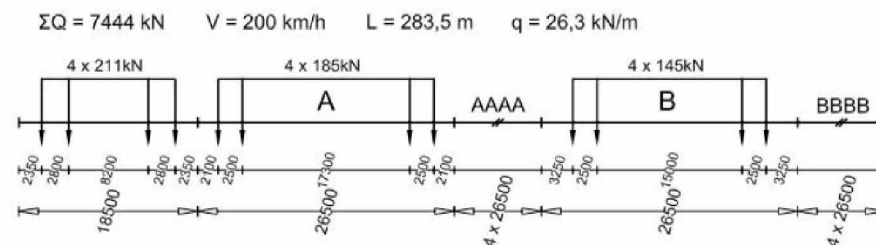
H.13 Suomalaiset junatyypit väsymis- mitoituksessa

Pendolino



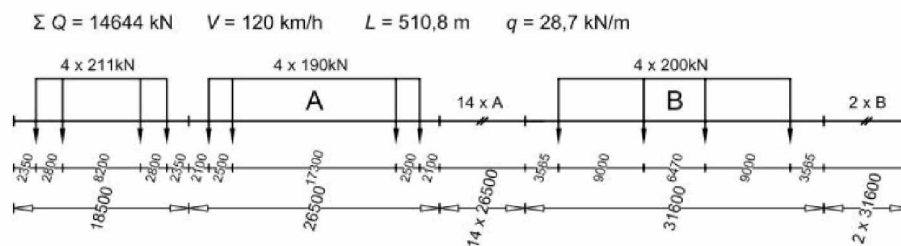
Kuva H.13.1 Tyypä 1 – "Pendolino"

IC + IC²



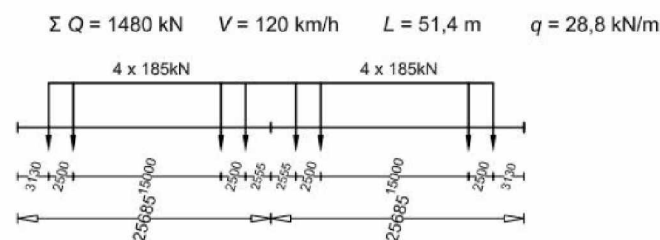
Kuva H.13.2 Tyypä 2 – "IC+IC2"

Yöpikajuna



Kuva H.13.3 Tyypä 3 – "Yöpikajuna"

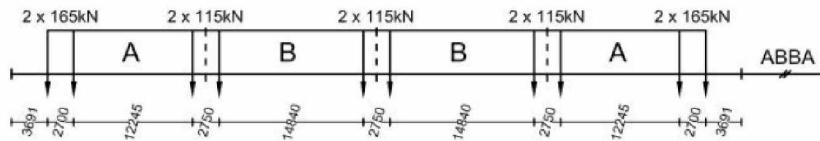
Sm4



Kuva H.13.4 Tyypä 4 – "Sm4"

Sm5

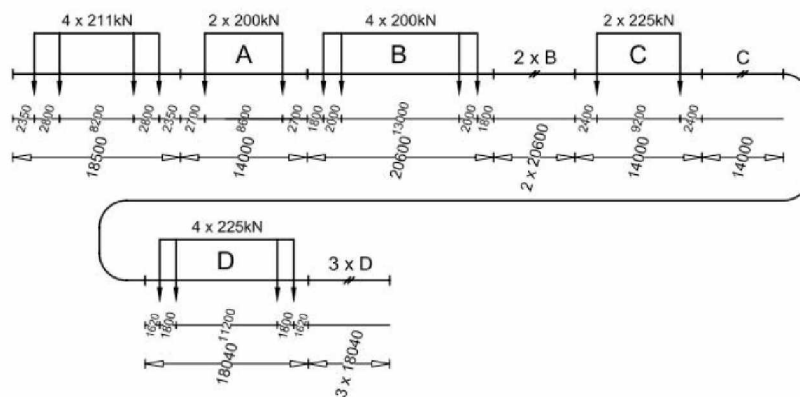
$$\Sigma Q = 2700 \text{ kN} \quad V = 120 \text{ km/h} \quad L = 150,4 \text{ m} \quad q = 18,0 \text{ kN/m}$$



Kuva H.13.5 Tyyppi 5 – "Sm5"

Kevyt tavarajuna

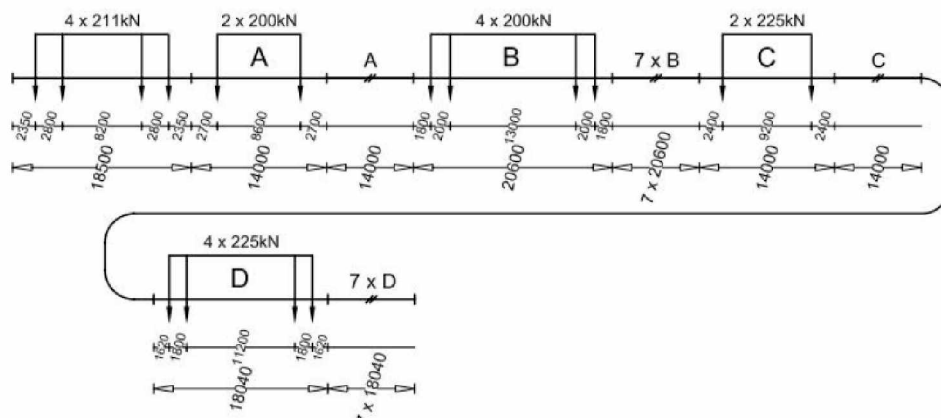
$$\Sigma Q = 8144 \text{ kN} \quad V = 80 \text{ km/h} \quad L = 194,5 \text{ m} \quad q = 41,9 \text{ kN/m}$$



Kuva H.13.6 Tyyppi 6 – "Kevyt tavarajuna"

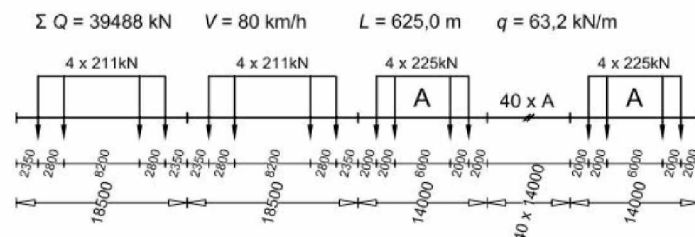
Tavarajuna

$$\Sigma Q = 16144 \text{ kN} \quad V = 80 \text{ km/h} \quad L = 383,6 \text{ m} \quad q = 42,1 \text{ kN/m}$$



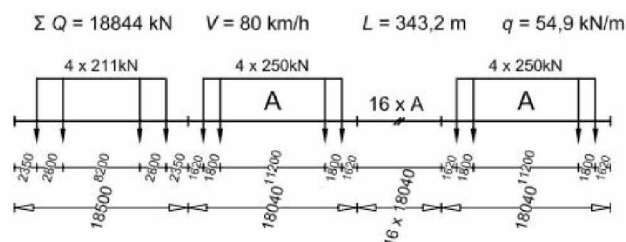
Kuva H.13.7 Tyyppi 7 – "Tavarajuna"

Raskas tavarajuna



Kuva H.13.8 Tyyppi 8 – "Raskas tavarajuna"

Tavarajuna 25t



Kuva H.13.9 Tyyppi 9 – "Tavarajuna 25t"

Taulukko H.13.1 Liikenteen koostumus kaupunkiradoilla

Junan tyyppi	Junien määrä / vrk	Junan massa [t]	Liikennesuorite [$10^6 \text{ t} / \text{vuosi}$]
5	320	265	30,95

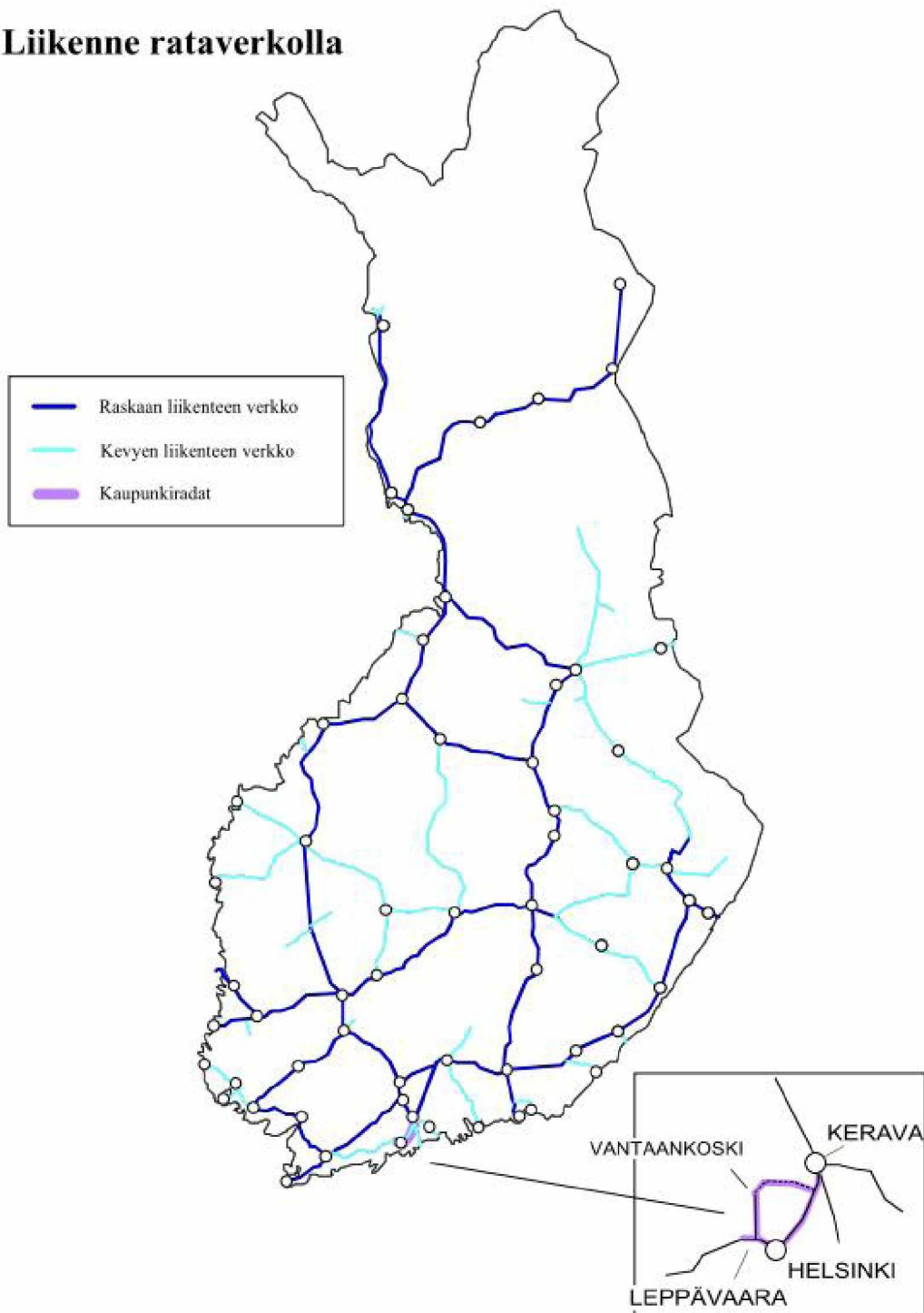
Taulukko H.13.2 Liikenteen koostumus kevyen liikenteen verkolla

Junan tyyppi	Junien määrä / vrk	Junan massa [t]	Liikennesuorite [$10^6 \text{ t} / \text{vuosi}$]
1	2	758	0,55
2	6	744	1,63
4	10	148	0,54
6	6	814	1,78
7	6	1614	3,53
	30		8,03

Taulukko H.13.3 Liikenteen koostumus raskaan liikenteen verkolla

Junan tyyppi	Junien määrä / vrk	Junan massa [t]	Liikennesuorite [$10^6 \text{ t} / \text{vuosi}$]
1	10	758	2,77
2	32	744	8,69
3	2	1464	1,07
4	30	148	1,62
6	16	814	4,75
7	16	1614	9,43
8	4	3949	5,77
9	2	1884	1,38
	112		35,48

Liikenne rataverkolla



Kuva H.13.10 Suomen raskaan ja kevyen liikenteen verkko

H.14 Siirtomenetelmällä rakennettavat sillat

H.14.1 Siirron aikaiset rasitukset

Siirtomenetelmällä rakennettavissa silloissa tarkastetaan sillan työnaikainen rasitus-tila. Sillan siirron aikainen rasitus-tila hallitaan joko:

- tuntemalla siirron aikaiset tukireaktiot, jolloin niiden suuruudet ja sallitut poikkeamat ilmoitetaan suunnitelmassa
- tuntemalla siirron aikainen rakenteen geometria, jolloin suunnitelmassa esitetään sallitut muoto- poikkeamat (siirtoratojen painumat)

Siirtomenetelmästä aiheutuvat kuormat voidaan käsitellä kuormien yhdistelyssä tukipainumina.

Siirronaikaisissa tarkasteluissa tulee ottaa huomioon koko sillan poikkileikkaus ottaen huomioon myös reunapalkit (tarvittaessa reunapalkit voidaan katkaista rasite- tuimmista kohdista).

Siirtotilannetarkastelussa jännitetyn betonisillan vetojännitykselle voidaan sallia arvo f_{ctm} .

H.14.2 Tukikorkopoikkeamat

Siirtomenetelmässä on suunnittelussa otettava huomioon siltakannen ja sillan tukien väliset tukikorkopoikkeamat:

- sillan pituussuunnassa peräkkäisten tukilinjöjen korkopoikkeama on 5 mm koko tukilinjalle.
- sillan poikkisuunnassa 5 mm tukipistettä kohden kohdetukilinjän koostu- essa vain kahdesta tukipisteestä.
- tukilinjän koostuessa useammasta kuin kahdesta tukipisteestä mitoitetaan siltakansi 2 mm tukikorkopoikkeamalle (kukin tukipiste erikseen). Mikäli sil- lan kuormista ei aiheudu ko. suuruista painumaa mitoitetaan kansi ilman ky- seistä tukea. Alusrakenteisiin jäykästi kiinnitetyn siltakannen osalta otetaan huomioon ainoastaan ennen liittämistä vaikuttavat kuormat.
- kahden vierekkäisen kumilevy-laakerin välillä ei oleteta olevan tukikorkopoik- keamaa.

Tukikorkopoikkeaman aiheuttama sillan tukireaktioiden epätasainen jakautuminen alusrakenteille ja laakereilla selvitetään tapauskohtaisesti.

Tukikorkopoikkeama on pysyvä pitkäaikainen kuorma, jonka rasitusten laskennassa voidaan käyttää pitkäaikaista kimmokerrointa.

Laskettaessa silta laakerittoman tuen (esim. teräspalkkipaalu) varaan, käytetään tuki- reaktion epäkeskisyytenä mitoituksessa arvoa $e_t = d/2$ (d = tuen leveys tarkasteltavas- sa suunnassa). Epäkeskisyyttä käytetään kuormille, jotka vaikuttavat ennen siltakan- nen liittämistä perustuksiin.

Liittämisen jälkeisille kuormille epäkeskisyyys $e_t = 0$.

Paalujen mitoituksessa on otettava huomioon sijainti- ja kaltevuustoleranssit RIL 254–201 mukaisesti.

Tässä liitteessä on esitetty tiesiltöjen suunnittelussa tarvittavat kuormitusyhdistelyt murto- ja käyttörajatiloissa.

- Kuormitusyhdistelyjä muodostettaessa on otettu huomioon kaikki standardin SFS-EN 1990 muutoksen A1 (SFS-EN 1990/A1 Liite A2) ja sen kansallisen liitteen vaatimukset ja erityisehdot.
 - o Kuormien yhdistelykerrointaulukko A.2.1(FI)
 - o Murtorajatilan kuormitusyhdistelytaulukot A2.4(A) (FI), A2.4(B) (FI)
 - o Käyttörajatilan kuormitusyhdistelytaulukko A2.6
 - o Onnettomuuskuormitusyhdistelytaulukko A2.5
 - o Standardissa esitetyt vaatimukset ja rajaukset (mm. kappaleet A2.2.2....A2.2.4)
- Kuormitusyhdistelyt on muodostettu vuorottelemalla kutakin muuttuvaa kuormaa määräävänä muuttuvana kuormana, ainoastaan määräävimät kuormitusyhdistelyt tulee tarkastaa.

TAULUKKOJEN MERKINNÄT	
gr1...gr5	Kuormaryhmät (kpl B.4.5)
F _{wk}	Tuulikuorma (kpl C)
T _k	Lämpötilakuorma (kpl D)
BF	Laakerikitka (kpl H.3)
IL	Jääkuorma (kpl H.1)
S	Tukipainuma (kpl H.2)
TLEP	Liikennekuorman maanpaine (kpl H.4)
1...	Kuormitusyhdistelyn numero (murtorajatila)
1a...	Kuormitusyhdistelmän juokseva numero ('a' = käyttörajatilan ominaisyhdistelmä)
1b...	Kuormitusyhdistelmän juokseva numero ('b' = käyttörajatilan tavallinen yhdistelmä)
1c	Kuormitusyhdistelmän numero ('c' = käyttörajatilan pitkäaikaisyhdistelmä)

Taulukko 1: Tiesillat – murtorajatila:

TIESILLÄT - MURTORAJATILA - Set A: A2.4 (A), Set B: A2.4 (B)												
KUORMITUSYHDISTELYN MÄÄRÄÄVÄ MUUTTUVA KUORMA (6.10b)												
YHDISTELYKAAVAT MRT_1 - MRT_11												
	MRT_0	MRT_1	MRT_2	MRT_3	MRT_4	MRT_5	MRT_6	MRT_7	MRT_8	MRT_9	MRT_10	MRT_11
	6.10a	gr1a	gr1b	gr2	gr3	gr4	gr5	F _{wk}	I _k	BF	IL	TLEP
		LM1	LM2	LM1+vaaka	kevyt	ruuhka	LM3	Tuuli	Lämpötila	Laakerikitta	Jaäkuorma	Lk-maanp.
SET A (EQU) & SET B (STR/GEO)	1,35	STR/GEO: 1,25 / 0,9										
	1,1 / 0,9 ⁴⁾	STR/GEO: 1,1 / 0,9 ⁴⁾										
		EQU: 1,15 / 0,9 ³⁾										
		EQU: 1,1 / 0,9 ³⁾										
		EQU: 1,1 / 0,9 ³⁾										
SET A (EQU) & SET B (STR/GEO)		gr1a (LM1)										

1) Tuulikuormasta huomio: Tuulikuorma lasketaan erikseen tyhjän sillan tapaukselle ja tapaukselle jossa se esiintyy yhtä aikaa liikennekuorman kanssa.

2) Lämpötilakuorma/tukipainuma voidaan jättää pois murtorajatilayhdistelystä mikäli rakenteella on riittävästi muodonmuutoskykyä (ks. materiaaliakohtaiset sovellusohjeet)

3) Stabiiliiteettia tarkastettaessa (EQU) 1,30 / 0,9 [EN 1992-1-1: 2.4.2.2 (2) Huom)]

4) Paikalliset vaikutukset 1,20 / 0,9 (STR/GEO) [EN 1992-1-1: 2.4.2.2 (3) Huom)]

- Passiivipaineen yhdistelykerroin aiheuttavan kuorman mukaan ja varmuusluku pysyvän kuorman mukaan

- Vedenpinnan aseman vaikutukset yhdistellään pysyvän kuorman kanssa siten että saavutetaan määräävä yhdistely

= Määräävä muuttuva kuorma

Tiesillat		Onnettomuusyhdistelmä	
Ad	1	1	1
Omapaino	1	1	1
Esijännitys	1	1	1
gr1a ³⁾	Telit	0,75	-
	UDL	0,4	-
	Kevyt	-	-
gr1b	-	-	0,75
gr2	-	-	-
gr3	-	-	-
gr4	-	-	-
gr5	-	-	-
F _{wk} ¹⁾	-	-	-
T _k	0,5	-	-
BF	0,4	-	-
IL	0,2	-	-
S ²⁾			
TLEP	0,3	0,3	0,3

TIESILLÄT - KÄYTTÖRAJATILA - Ominaisyyshdistelmä (6.14), Tavallinen yhdistelmä (6.15), Pitkäaikaisyhdistelmä (6.16)																				
(6.14)										(6.15)										(6.16)
KUORMITUSYHDISTELYN MÄÄRÄÄVÄ MUUTTUVA KUORMA																				
KRT_1a - KRT_11a										KRT_1b - KRT_11b										KRT_1c
1a	2a	3a	4a	5a	6a	7a	8a	9a	10a	11a	1b	2b	5b	7b	8b	9b	10b	11b		
gr1a	gr1b	gr2	gr3	gr4	gr5	F _{wk}	T _k	BF	IL	TLEP	gr1a	gr1b	gr4	F _{wk}	T	BF	IL	TLEP		
1										1										1
1										1										1
1	-	-	-	-	-	-	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	-	-	-	-	-	-	-	-	
	-	-	-	-	-	-	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	-	-	-	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	
	-	-	-	-	-	-	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	-	-	-	-	-	-	-	-	
-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,75	-	-	-	-	-	-	-	
-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	0,75	-	-	-	-	-	-	
0,6	-	-	-	-	-	1	0,6	0,6	0,6	0,6	-	-	-	0,2	-	-	-	-	-	
0,6	-	0,6	0,6	0,6	-	0,6	1	0,6	0,6	0,6	0,5	-	0,5	0,5	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	
0,6	-	0,6	0,6	0,6	-	0,6	0,6	1	0,6	0,6	0,4	-	0,4	0,4	0,4	0,5	0,4	0,4	0,4	
0,7	-	0,7	0,7	0,7	-	0,7	0,7	0,7	1	0,7	0,2	-	0,2	0,2	0,2	0,2	0,5	0,2	0,2	
0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	-	0,75	0,75	0,75	0,75	1	0,3	-	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	
TLEP																				0,3

1) Tuulikuormasta huomio: Tuulikuorma lasketaan erikseen tyhjän sillan tapaukselle ja tapaukselle.

jossa se esiintyy yhtä aikaa liikennekuorman kanssa.

2) tukipainuma ja vedenpinnan asema yhdistellään pysyvän kuorman kanssa siten että saavutetaan määräävä yhdistely

- passiivipaineen yhdistelykerroin aiheuttavan kuorman mukaan

3) Onnettomuusyhdistelmässä liikennekuormaavaio LM1 otetaan huomioon (tavallisella arvolla) vain yhdellä kaistalla.

= Määräävä muuttuva kuorma

Tässä liitteessä on esitetty rautateiden siltöjen suunnittelussa tarvittavat kuormitusyhdistelyt murto- ja käyttörajatiloissa.

- Kuormitusyhdistelyjä muodostettaessa on otettu huomioon kaikki standardin SFS-EN 1990 muutoksen A1 (SFS-EN 1990/A1 Liite A2) ja sen kansallisen liitteen vaatimukset ja erityisehdot.
 - o Kuormien yhdistelykerrointaulukko A.2.3 ja siihen kansallisessa liitteessä annettu lisäys
 - o Murtorajatilan kuormitusyhdistelytaulukot A2.4(A) (FI), A2.4(B) (FI)
 - o Käyttörajatilan kuormitusyhdistelytaulukko A2.6
 - o Onnettomuuskuormitusyhdistelytaulukko A2.5
 - o Standardissa esitetyt vaatimukset ja rajaukset (mm. kappaleet A2.2.1....A2.2.5)
- Kuormitusyhdistelyt on muodostettu vuorottelemalla kutakin muuttuvaa kuormaa määräävänä muuttuvana kuormana, ainoastaan määräävimmat kuormitusyhdistelyt tulee tarkastaa.
- Rautatieliikennekuormina ei käytetä standardissa SFS-EN 1991-2 6.8.2 taulukossa 6.11 määritettyjä kuormaryhmiä. Sen sijaan rautatieliikennekuormitusta pidetään yksittäisenä usean suuntakomponentin käsittävänä muuttuvana kuormana, jonka yksittäisinä rautatieliikenteestä aiheutuvina kuormakomponentteina pidetään suurinta epäedullisinta ja pienintä edullista arvoa.

TAULUKKOJEN MERKINNÄT	
LM71 tai SW/O	Rautatiesiltöjen yleiset kuormakaaviot (kpl B.6.3.2 ja kpl B.6.3.3)
KJ	Kuormakaavio ”kuormittamaton juna” (kpl B.6.3.4)
ML	Yleisöltä suljettujen kulkukäytävien kuormat (kpl B.6.3.7 ja kpl B.6.3.8)
F _{wk}	Tuulikuorma (kpl C)
Tk	Lämpötilakuorma (kpl D)
BF	Laakerikitka (kpl H.3)
IL	Jääkuorma (kpl H.1)
S	Tukipainuma (kpl H.2)
TLEP	Liikennekuorman maanpaine (kpl H.4)
1...	Kuormitusyhdistelyn numero (murtorajatila)
1a...	Kuormitusyhdistelmän juokseva numero ('a' = käyttörajatilan ominaisyhdistelmä)
1b...	Kuormitusyhdistelmän juokseva numero ('b' = käyttörajatilan tavallinen yhdistelmä)
1c	Kuormitusyhdistelmän numero ('c' = käyttörajatilan pitkäaikaisyhdistelmä)

Taulukko 1: Rautatiesillat – murtorajatila:

RAUTATIESILLAT - MURTORAJATILA - Set A: A2.4 (A), Set B: A2.4 (B)										
KUORMITUSYHDISTELYN MÄÄRÄVÄ MUUTTUVA KUORMA (6.10b)										
YHDISTELYKAAVAT MRT_1 - MRT_9										
MRT_0	MRT_1	MRT_3	MRT_4	MRT_5	MRT_6	MRT_7	MRT_8	MRT_9		
6.10a	LM71 / SW/0	ML	Fwk	Fwk & KJ ⁵⁾	Tk	BF	IL		TLEP	
SET A (EQU) & SET B (STR/GEO)	1,35	STR/GEO: 1,25 / 0,9 EQU: 1,15 / 0,9								
	1,1/0,9 ⁴⁾	STR/GEO: 1,1 / 0,9 ⁴⁾ EQU: 1,1 / 0,9 ³⁾								
	1,2	1,45	1,45 x 0,8	1,45 x 0,8	-	1,45 x 0,8	1,45 x 0,8	1,45 x 0,8	1,45 x 0,8	1,45 x 0,8
		-	-	-	1,45 x 0,8	-	-	-	-	-
		1,5 x 0,8	1,5	1,5 x 0,8	1,5 x 0,8	1,5 x 0,8	1,5 x 0,8	1,5 x 0,8	1,5 x 0,8	1,5 x 0,8
		1,5 x 0,75	1,5 x 0,75	1,5	1,5	1,5 x 0,75	1,5 x 0,75	1,5 x 0,75	1,5 x 0,75	1,5 x 0,75
		1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6
		1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6
		1,5 x 0,7	1,5 x 0,7	1,5 x 0,7	1,5 x 0,7	1,5 x 0,7	1,5 x 0,7	1,5 x 0,7	1,5 x 0,7	1,5 x 0,7
		1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
1,5 x 0,8	1,5 x 0,8	1,5 x 0,8	1,5 x 0,8	1,5 x 0,8	1,5 x 0,8	1,5 x 0,8	1,5 x 0,8	1,5		
TLEP									1,5	

1) Tuulikuormasta huomio: Tuulikuorma lasketaan erikseen tyhjän sillan tapaukselle ja tapaukselle jossa se esiintyy yhtä aikaa liikennekuorman kanssa.

-Tuulikuormaa ei tarvitse ottaa huomioon, kun sillan pitkästäisuuntaiset liikennekuormat ovat mukana täydellä arvoltaan (SFS-EN 1990 A2.2.4(3))

2) Lämpötilakuorma/tukipainuma voidaan jättää pois murtorajatilayhdistelystä mikäli rakenteella on riittävästi muodonmuutoskykyä (ks. Mat.kohtaiset sovellusohjeet)

23) Stabiiliteettia tarkastettaessa (EQU) 1,30 [EN 1992-1-1: 2.4.2.2 (2) Huom]]

4) Paikalliset vaikutukset 1,20 (STR/GEO) [EN 1992-1-1: 2.4.2.2 (3) Huom)]

5) Yhdistelmä otetaan huomioon vain tarkistettaessa rakenteen stabiiliutta jäykkänä kappaleena

6) Sisältää rautatietiliikenteen pystysuuntaiset ja vaakasuuntaiset komponentit yhdisteltynä soveltamishojeen NCCI 1 taulukon B.10 mukaisesti

- Passiivipaineen yhdistelykerroin aiheuttavan kuorman mukaan ja varmuusluku pysyvän kuorman mukaan

- Vedenpinnan aseman vaikutukset yhdistellään pysyvän kuorman kanssa siten että saavutetaan määräävä yhdistely

= Määräävä muuttuva kuorma

Taulukko 2: Rautatiesillat – käyttörajatilat ja onnettomuusyhdistelmät:

RAUTATIESILLAT - KÄYTTÖRAJATILA - Ominaisyyshdistelmä (6.14), Tavallinen yhdistelmä (6.15), Pitkäaikaisyhdistelmä (6.16)													
(6.14)													
KUORMITUSYHDISTELYN MÄÄRÄVÄ MUUTTUVA KUORMA													
YHDISTELYKAAVAT KRT_1a - KRT_9a													
1a	3a	4a	6a	7a	8a	9a	1b	3b	4b	6b	7b	8b	9b
LM71 / SW/0	ML	Fwk	Tk	BF	IL	TLEP	LM71 / SW/0	ML	Fwk	Tk	BF	IL	TLEP
Omapaino	1	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Esiännitys	1	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
LM71 / SW/0 ⁶⁾	1	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
ML	0,8	1	0,8	0,8	0,8	0,8	1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Fwk ¹⁾	0,75	1	0,75	0,75	0,75	0,75	1	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Tk	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
BF	0,6	0,6	0,6	1	0,6	0,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
IL	0,7	0,7	0,7	0,7	1	0,7	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
S ²⁾													
TLEP	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2

YHDISTELYKAAVAT KRT_1b - KRT_9b													
1c	9b	8b	7b	6b	5b	4b	3b	2b	1b	0b	9a	8a	7a
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Ad	Ad	Ad	Ad	Ad	Ad	Ad	Ad	Ad	Ad	Ad	Ad	Ad	Ad
Omapaino	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Esiännitys	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
LM71 / SW/0 ^{3) 6)}	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
ML	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fwk ¹⁾	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tk	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
BF	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
IL	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
S ²⁾													
TLEP	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2

RAUTATIESILLAT - Onnettomuusyhdistelmä													
Onnettomuusyhdistelmä													
Suistuminen sillalla ⁴⁾													
Törmäys sillan alapuolella													
Ad	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Omapaino	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Esiännitys	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
LM71 / SW/0 ^{3) 6)}	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
ML	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fwk ¹⁾	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tk	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
BF	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
IL	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
S ²⁾													
TLEP	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2

1) Tuulikuormasta huomio: Tuulikuorma lasketaan erikseen tyhjän sillan tapaukselle ja tapaukselle, jossa se esiintyy yhtä aikaa liikennekuorman kanssa.

- Tuulikuormaa ei tarvitse ottaa huomioon, kun sillan pitkäsuuntaiset liikennekuormat mukana täydellä arvolla (SFS-EN 1990 A2.2.4(3))

2) Tukipainuma ja vedenpinnan asema yhdistetään pysyvän kuorman kanssa siten että saavutetaan määräävä yhdistely

3) Kerroin riippuu kuormitettujen raiteiden määrästä i seuraavasti: 0,8 kun i=1, 0,7 kun i=2 ja 0,6 kun i≥3

4) Ad= Suistumiskuorma NCCI 1 kappaleen B.6.7.1 mukaan. Yhdistelykertoimet koskevat muilla raitteilla olevaa liikennekuormaa.

5) Mikäli hankekohtaisesti ei muuta päätetä (esim. ratapihalla), voi onnettomuusyhdistelmässä sillalla olevan liikennekuorman puolittaa

6) Sisältää rautatieliikenteen pystysuuntaiset ja vaakasuuntaiset komponentit yhdisteltynä soveltamisohjeen NCCI 1 taulukon B.10 mukaisesti

- Passiivipaineen yhdistelykerroin aiheuttavan kuorman mukaan

= Määräävä muuttuva kuorma

Tässä liitteessä on esitetty kevyen liikenteen siltöjen suunnittelussa tarvittavat kuormitusyhdistelyt murto- ja käyttörajatiloissa.

- Kuormitusyhdistelyjä muodostettaessa on otettu huomioon kaikki standardin SFS-EN 1990 muutoksen A1 (SFS-EN 1990/A1 Liite A2) ja sen kansallisen liitteen vaatimukset ja erityisehdot.
 - o Kuormien yhdistelykerrointaulukko A.2.2(FI)
 - o Murtorajatilan kuormitusyhdistelytaulukot A2.4(A) (FI), A2.4(B) (FI)
 - o Käyttörajatilan kuormitusyhdistelytaulukko A2.6
 - o Onnettomuuskuormitusyhdistelytaulukko A2.5
 - o Standardissa esitetyt vaatimukset ja rajaukset (mm. kappaleet A2.2.2....A2.2.4)
- Kuormitusyhdistelyt on muodostettu vuorottelemalla kutakin muuttuvaa kuormaa määräävänä muuttuvana kuormana, ainoastaan määräävimmit kuormitusyhdistelyt tulee tarkastaa.

TAULUKKOJEN MERKINNÄT	
gr1 ja gr2	Kuormaryhmät (kpl B.5.5)
F _{wk}	Tuulikuorma (kpl C)
T _k	Lämpötilakuorma (kpl D)
BF	Laakerikitka (kpl H.3)
IL	Jääkuorma (kpl H.1)
S	Tukipainuma (kpl H.2)
TLEP	Liikennekuorman maanpaine (kpl H.4)
1...	Kuormitusyhdistelyn numero (murtorajatila)
1a...	Kuormitusyhdistelmän juokseva numero ('a' = käyttörajatilan ominaisyhdistelmä)
1b...	Kuormitusyhdistelmän juokseva numero ('b' = käyttörajatilan tavallinen yhdistelmä)
1c	Kuormitusyhdistelmän numero ('c' = käyttörajatilan pitkäaikaisyhdistelmä)

Taulukko 1: Kevyen liikenteen sillat – murtorajatila:

KEVYEN LIIKENTEEN SILLAT - MURTORAJATILA - Set A: A2.4 (A), Set B: A2.4 (B)										
KUORMITUSYHDISTELYN MÄÄRÄÄVÄ MUUTTUVA KUORMA (6.10b)										
YHDISTELYKAAVAT MRT_1 - MRT_7										
	MRT_0	MRT_1	MRT_2	MRT_3	MRT_4	MRT_5	MRT_6	MRT_7		
	6.10a	gr1	gr2	F _{wk}	T _k	BF	IL	TLEP		
SET A (EQU) & SET B (STR/EQU)	1,35 1,1 / 0,9 ³⁾	STR/GEO: 1,25 / 0,9 STR/GEO: 1,1 / 0,9 ³⁾		EQU: 1,15 / 0,9 EQU: 1,1 / 0,9 ²⁾						
	-	1,35	-	1,35 x 0,4	-	-	-	-	-	-
SET A (EQU) & SET B (STR/EQU)	gr1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	gr2	-	1,35	-	-	-	-	-	-	-
	F _{wk}	1,5	0,3	1,5	1,5	1,5 x 0,3	1,5 x 0,3	1,5 x 0,3	1,5 x 0,3	1,5 x 0,3
	T _k ¹⁾	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6
	BF	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6
	IL	1,5 x 0,7	1,5 x 0,7	1,5 x 0,7	1,5 x 0,7	1,5 x 0,7	1,5	1,5	1,5 x 0,7	1,5 x 0,7
	S ¹⁾	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
	TLEP	-	1,5 x 0,4	1,5 x 0,4	1,5 x 0,4	1,5 x 0,4	1,5 x 0,4	1,5 x 0,4	1,5 x 0,4	1,5

1) Lämpötilakuorma/tukipainuma voidaan jättää pois murtorajatilayhdistelystä mikäli rakenteella on riittävästi muodonmuutoskykyä

2) Stabiiliteettia tarkastettaessa (EQU) 1,30 [EN 1992-1-1: 2.4.2.2 (2) Huom]]

3) Paikalliset vaikutukset 1,20 (STR/GEO) [EN 1992-1-1: 2.4.2.2 (3) Huom]]

- Passiivipaineen yhdistelykerroin aiheuttavan kuorman mukaan ja varmuusluku pysyvän kuorman mukaan

- Vedenpinnan aseman vaikutukset yhdistellään pysyvän kuorman kanssa

 = Määräävä muuttuva kuorma

Taulukko 2: Kevyen liikenteen sillat – käyttörajatilat ja onnettomuusyhdistelmä:

KEVYEN LIIKENTEEN SILLAT - KÄYTTÖRAJATILA															
Ominaisyyshdistelmä (6.14), Tavallinen yhdistelmä (6.15), Pitkäaikaisyyshdistelmä (6.16)															
(6.14)										(6.15)					
KUORMITUSYHDISTELYN MÄÄRÄÄVÄ MUUTTUVA KUORMA															
KRT_1a - KRT_7a										KRT_1b - KRT_7b					
1a	2a	3a	4a	5a	6a	7a	1b	3b	4b	5b	6b	7b	KRT_1c		
gr1	gr2	F _{wk}	T _k	BF	IL	TLEP	gr1	F _{wk}	T _k	BF	IL	TLEP			
Omapaino	1														
Esijännitys	1														
gr1	1	-	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	-	-	-	-	-	1	1	
gr2	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
F _{wk}	0,3	0,3	1	0,3	0,3	0,3	-	0,2	-	-	-	-	-	-	
T _k	0,6	0,6	0,6	1	0,6	0,6	0,5	0,5	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	
BF	0,6	0,6	0,6	0,6	1	0,6	0,4	0,4	0,4	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	
IL	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,2	0,2	0,2	0,2	0,5	0,2	0,2	0,2	
S ¹⁾															
TLEP	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	-	-	-	-	-	0,4	-	-	

1) Tukipainuma ja vedenpinnan asema yhdistellään pysyvän kuorman kanssa

- Passiivipaineen yhdistelykerroin aiheuttavan kuorman mukaan

= Määräävä muuttuva kuorma

